

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Точність позиціонування вимірювальних наконечників на поверхні залежить не тільки від схеми контролю і виконання вимірювальної оснастки, але й від цілого ряду зовнішніх чинників, включно з технологічними режимами оброблення та ступенем автоматизації операцій, що вимагає обов'язкового регламентування кількості підналагоджень технологічної системи протягом зміни.

### Інформаційні джерела

- Соболев М.П., Этингоф М.И. Автоматический размерный контроль на металлорежущих станках. Смоленск, "Ойкумена", 2005. – 300 с.
- Сорочкин Б.М. Автоматизация измерений и контроля размеров деталей. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 365 с.
- Активный контроль в машиностроении: Справочник / Под. ред. Е.И. Педя. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978, – 352 с.

УДК 622.24.051.55

**Р.С. Яким<sup>1</sup>, д.т.н., Ю.Д. Петрина<sup>2</sup>, д.т.н., І.С. Яким<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Дрогобицький державний педагогічний університет ім. Івана Франка.

<sup>2</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

### ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ШАРОШОК З ТВЕРДОСПЛАВНИМ ПОРОДОРУЙНІВНИМ ОСНАЩЕННЯМ ДЛЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ

Експериментально обґрунтовано вибір інструменту та оптимальні параметри процесу свердління отворів під твердосплавні вставні зубки у вінцях шарошок бурових доліт діаметром 244,5 мм. Встановлено вплив характеру розподілу твердості в тілах вінців шарошок доліт 244,5 ОК-ПГВ-D26 на величину розбики отворів під вставні твердосплавні зубки. Встановлено модель, що дозволяє визначати оптимальні вимоги до розподілу значень твердості по перерізу вінця шарошки (від поверхні у серцевину), на глибину отворів під вставні зубки. Рекомендується здійснювати контроль плавок долотної сталі 14ХН3МА на регламентовані значення прогартовування, а також підвищувати якість операцій захисту вінців від цементації та операцій термообробок.

**Ключові слова:** свердління, розвірчування, отвір, вінець шарошки, твердість

Экспериментально обосновано выбор инструмента и оптимальные режимы процесса сверления отверстий под твердосплавные вставные зубки в венцах шарошек буровых долот диаметром 244,5 мм. Установлено влияние характера распределения твердости в телах венцов шарошек долот 244,5 ОК-ПГВ-D26 на величину разбивки отверстий под вставные твердосплавные зубки. Установлено модель, что позволяет рассчитывать оптимальное требования к распределению значений твердости по сечению вена шарошки (от поверхности в серцевину), на глубину отверстий под вставные зубки. Рекомендуется осуществлять контроль плавок долотной стали 14ХН3МА на предписанные значения прокаливания, а также повышать качество операций защиты венцов от цементации и операций термообработок.

**Ключевые слова:** сверление, развертывание, отверстие, венец шарошки, твердость.

*The choice of tools and optimal parameters of the process of holes drilling for inserted hard-alloyed teeth in the rolling-cutter teeth rows of rock bits with the diameter equal to 244,5mm are experimentally based. The influence of hardness pattern in the bodies of rolling-cutter teeth rows of 244,5 ОК-ПГВ-D26 rock bits on the value of holes planning for inserted hard-alloyed teeth is also determined. The model, that allows to define the optimal requirements for distribution of hardness values along the section of rolling-cutter teeth row (from the surface into the heart) to a depth of holes for inserted teeth, is found. It is recommended to do a test of 14XH3MA rock bit steel melting for regulated values of harden ability and also increase the quality of protection operations of rolling-cutter teeth rows against carburizing and heat treatment operations.*

**Keywords:** drilling, reaming (boring), hole, rolling-cutter teeth row, hardness.

**Постановка проблеми.** Сучасні вимоги до буріння свердловин ставлять перед долотним виробництвом комплексні вимоги щодо якості бурових доліт. Поміж існуючими конструкціями бурових доліт найскладнішими у виготовленні є тришарошкові з вставним породоруйнівним оснащенням. Однією з проблем у виготовленні таких доліт є забезпечення якості шарошок із

вставними твердосплавними зубками. Шарошки і вставні зубки працюють у вкрай важких умовах, що висуває низку вимог щодо їх зносостійкості, тріщинності та ударної витривалості та ін. Оскільки твердосплавні зубки з'єднуються із тілом шарошки посадкою з натягом то забезпечення якості технологічних операцій формоутворення отворів у шарошці та посадки зубків вимагає високої точності. Зважаючи на особливості технології виготовлення шарошок ця проблема до кінця ще не вирішена.

Отже необхідний пошук резервів у вдосконаленні технології виготовлення шарошок із вставним твердосплавним оснащенням, що дозволить у цілому підвищити якісні показники тришарошкових бурових доліт призначених для буріння міцних та високоміцних гірських порід.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженю шляхів удосконалення технології виготовлення шарошок із твердосплавним породоруйнівним оснащеннем присвячено роботи [1-9] та ін. Аналіз результатів цих досліджень показує, що у вирішенні окресленої проблеми є декілька шляхів.

Найбільш поширеним є підхід, що ґрунтуються на вдосконаленні процесу формоутворення отворів у шарошці [1-5]. Це обумовлено тим, що готові твердосплавні зубки постачаються на долотне виробництво і їх додаткове оброблення (шліфування до необхідного розміру) є економічно невиправданим для підприємств. Другим, більш досконалім способом є вдосконалення якості формоутворення отворів та формування селективних груп отворів та зубків [5, 6]. Тут, у зв'язку із загрозою виникнення незавершеного виробництва, існує проблема встановлення оптимальних параметрів селективних груп отворів у шарошці та твердосплавних зубків. Зокрема в [7] пропонується формувати від 8 до 36 розмірних груп для зубків і отворів. Тим не менше, дослідження проведені на базі реального виробництва бурових доліт (ВАТ „Дрогобицький долотний завод“) показали, що створення селективних груп не повинно перевищувати 10. Зокрема, для посадки твердосплавних зубків діаметром 12,8 мм найбільш оптимальним є формування 9 селективних груп розмірів отворів та хвостовиків зубків [8]. Стосовно усунення незавершеного виробництва, то практично виправданим є розвірчування отворів під селективний зубок із застосуванням пошукової оправки [5].

Відомий також напрямок вдосконалення технології складання [5, 6, 9], який ґрунтуються на створенні різниці температур між зубком і тілом шарошки. Також встановлені оптимальні параметри пресування та конструкторські показники спряжених поверхонь отвору шарошки та хвостовика вставного зубка [5, 6]. Тим не менше, проблема точності геометрії спряжених поверхонь з'єднання „зубок - шарошка“ має визначальне значення у надійності цього з'єднання. Перші вдалі спроби у підвищенні точності виготовлення отворів під зубок описано в [1]. Тут запропоновано введення у технологічний процес операції додаткового напівчистового розвірчування отворів. Однак це не дозволило отримати відчутний ефект через значний перепад твердості в тілі шарошки, поверхня якої була цементована і загартована, а серцевина мала низьку твердість. Відповідно, отримували збільшення діаметру отвору в ділянці dna отвору на 27мкм порівняно із діаметром на вході.

Результати лабораторних досліджень здійснених на спеціально підготовлених плитах із долотної сталі 16ХНЗМА подані в [2] показують, що наявність цементованого шару сприяє зменшенню конусності та розбивки отворів під хвостовики твердосплавних зубків. Тим не менше, характер впливу зміни твердості шарошки у ділянці формоутворення отворів виявився поза увагою авторів. Цю проблему вивчали в [3], і як наслідок, тут сформульовані основні вимоги до розподілу твердості в цементованих шарах шарошки. Однак, для усунення явищ утворення тріщин в крихких загартованих цементованих шарах, сьогодні шарошки в ділянці формоутворення отворів захищають від цементації.

**Невирішенні частини проблеми.** Згідно технологічного процесу виготовлення шарошок, сталеву заготовку, після гарячого штампування, піддають високому відпуску. Після обточування корпусу шарошки її вінці та деякі інші конструктивні елементи покривають спеціальною пастою для захисту від цементації. Шарошки піддають цементації з наступним високим відпуском. Далі свердлять отвори під твердосплавний зубок і проводять їх калібрування та підбирають дно. Після цього шарошки гарячують та піддають низькому відпуску. У процесі термообробки шарошки зазнають деформації. Тому для отримання високої точності отвори зенкерують та розвірчують. Інколи, за необхідності, у технологічний процес уводять додаткове розвірчування отворів. Здійснивши пресування зубків, шарошку піддають низькому відпуску. Зважаючи на те, що параметри хіміко-термічної обробки шарошок визначають їх експлуатаційні показники, важливим є встановлення оптимальних параметрів розподілів твердості по перерізі тіла шарошки. У свою чергу, ці параметри повинні задоволити комплекс експлуатаційних вимог щодо контактної витривалості бігових діржок підшипників кочення та тріщинності корпусу шарошок, а також зносостійкості вінців та ін. З іншої сторони, параметри розподілів твердості по перерізі тіла шарошки повинні створювати

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

сприятливі умови для технологічних процесів механічного оброблення отворів під вставні твердосплавні зубки.

**Метою дослідження є** встановлення взаємозв'язків між показниками твердості тіла вінців шарошки й параметрами процесу формоутворення отворів та якістю готових отворів під вставні твердосплавні зубки. З цією метою поставлена задача здійснити експериментальні дослідження із підбору ефективного інструменту для свердління отворів, а також статистично оцінити вплив параметрів розподілу твердості по глибині свердління отворів у вінцях шарошок бурових доліт на величину розбивки отворів. На основі цього розробити комплексні рекомендації для вдосконалення технології виготовлення шарошок з вставним твердосплавним породоруйнівним оснащенням для тришарошкових бурових доліт.

**Основні результати дослідження.** Дослідження проводили на шарошках бурових доліт діаметром 244,5 виготовлених зі сталі 14ХНЗМА. Шарошки виготовляли за серійною заводською технологією. Для формоутворення отворів застосовано верстат MCV 500 фірми „Kovosvit”.

Спочатку відпрацьовували операцію свердління отворів у вінцях шарошок під твердосплавні вставки (рис. 1, а), а потім оцінювали якість готових отворів (рис. 1, б).

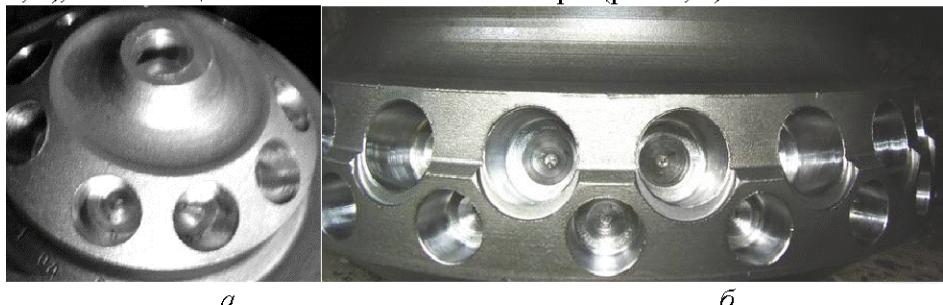


Рис. 1. Загальний вигляд отворів у вінцях шарошок: а – отвори просвердлені у вінцях вершини шарошки № 1, б – типові готові отвори на 2 і 3 вінцях шарошок

Для свердління отворів застосовано твердосплавні свердла фірми „Hertel”.

Геометричні розміри отворів вимірювали пневмокомпаратором „Western L-10”, що забезпечує допуск 0,05мм на діаметр групи. Цей прилад призначений для неконтактного заміру діаметрів отворів з точністю до 2,5мкм. Також вимірювали отвори нутроміром моделі 105 згідно стандартної методики.

Результати налагодження операції свердління отворів у шарошках подано в табл. 1

Таблиця 1

Експлуатаційні показники досліджуваних свердел

Діаметр свердла, мм	Діаметр отворів, мм	Кількість просвердлених отворів одним свердлом, шт	Загальна довжина свердління, мм
12,715	12,7 – 12,72	450 – 500	4000 – 4570
14,335	14,32 – 14,34	34 – 80	374 – 880

Аналізом пошкоджень свердел встановлено, що в основному відбувалося повільне притуплення різальних кромок на гвинтових стрічках. Також фіксували сколювання різальних кромок на стрічках довжиною до 4мм. Встановлено, що свердла можуть зламатися у випадку коли проводиться недостатньо якісний захист від цементації. Зокрема, свердло діаметром 14,335мм зламалося при свердлінні отвору на основному вінці, який, через нездовільний захист від цементації, мав твердість HRC49...52.

Здійснені дослідження з пошуку резервів у підвищенні стійкості свердла діаметром 14,335мм. Для цього з'ясовували оптимальні параметри різання для забезпечення прийнятної продуктивності процесу свердління. Встановлено, що при параметрах різання: частота обертання інструмента  $n=1000\text{об}/\text{хв.}$ , подача  $s=0,1\text{мм}/\text{об.}$ , швидкість різання  $v=45\text{м}/\text{хв.}$ , забезпечується максимальна стійкість (кількість просвердлених отворів одним свердлом збільшилася до 200 – 240шт., а загальна довжина свердління до 2200 – 2640мм).

Другим важливим етапом експериментальних досліджень було встановлення характеру розподілу твердості шарошки в ділянці свердління отворів. Для цього з шарошок виготовляли темплети (рис. 2 а, б) згідно діючої на виробництві технології. Травлення темплетів у 4% спиртовому розчині азотної кислоти дозволили виявити контур цементації (темні смуги по контуру темплетів) та візуально оцінити якість захисту від цементації. Твердість вимірювали згідно стандартної методики на приладі ПМТ-3. При цьому попередньо вимірювали твердість у контрольних точках згідно діючих типових СТП на контроль якості хіміко-термічної обробки шарошок бурових доліт, а потім (рис. 2 г), а потім згідно схеми поданої на рис. 2 г.

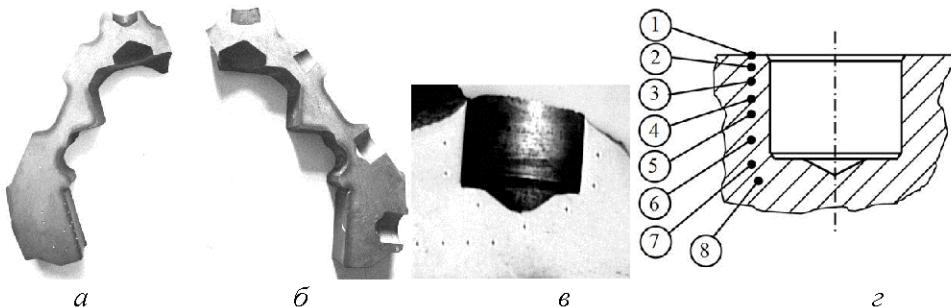


Рис. 2. Типові темплети і схема для дослідження розподілу твердості: *а* – темплет для вимірювання твердості по осьовому перерізу тіла шарошки на шарошках без отворів на основних рядах (зменшено); *б* – темплет для вимірювання твердості по осьовому перерізу тіла шарошки на шарошках із виконаними отворами (зменшено); *в* – фрагмент темплету ділянки отвору з відпечатками від випробовувань на твердість (точки по контуру отвору); *г* – схема контрольних точок для аналізу розподілу твердості по глибині отворів у вінцях шарошки

В табл. 2 подано результати вимірювань твердості по глибині отворів у вінцях шарошок 244,5 ОК-ПГВ-Д26 відповідно до прийнятої схеми контрольних точок (рис. 2, *г*).

Таблиця 2

Характер розподілу твердості по глибині отворів у вінцях шарошок 244,5 ОК-ПГВ-Д26

Номер точки вимірювання	Глибина, мм	Середнє значення твердості (HRC) по рядах шарошок				
		2	3	4	5	6
1	поверхня	43	41	43	43	42
2	1	42	40	42	42	41
3	2	41	40	42	42	41
4	4	41	39	41	41	40
5	6	40	39	41	41	40
6	8	40	38	41	41	39
7	10	39	37	40	41	38
8	12	39	37	40	40	38

Для можливості порівняння досліджень із раніше отриманими результатами в [3] застосовували твердосплавні розвертки діаметром 12,87мм. Припуск оброблення отворів на сторону становив 0,3мм, частота обертання інструмента  $n=850$ об/хв., подача  $s=0,1$ мм/об.

Оцінювання якості формоутворення отвору під вставні зубки здійснювали плануванням експерименту та пошуком екстремуму [10], де параметром оптимізації є розбивка отвору  $\Delta$  (різниця між діаметрами отвору та розвертки). Висунули гіпотезу про те, що розбивка отвору залежить від характеру розподілу твердості по глибині матеріалу вінців шарошок (HRC). Глибина отворів дорівнювала 10мм. Встановлено контрольні точки розподілу твердості по глибині отворів, які розглядали як чинники зміни величини розбивки отворів:  $x_1$  – поверхня вінця шарошки;  $x_2$  – на глибині 2мм;  $x_3$  – на половині глибини отвору (5мм);  $x_4$  – у ділянці дна отвору (10мм). На основі результатів вимірювання твердості, встановлені вихідні умови експериментів – основний рівень [0], інтервали варіації чинників [*J*] та визначені їх верхній [+1] і нижній [-1] рівні (табл. 3).

Ціллю першого етапу планованих експериментів є пошук лінійної моделі, що описує вплив градієнта твердості по глибині отвору на його розбивку. Це створює можливості для наближення до області оптимуму найкоротшим шляхом. Для побудови лінійної моделі вибрано і реалізовано чинниковий дробовий план типу  $2^{4-1}$  (табл. 3).

Однорідність отриманих дисперсій перевіряли за допомогою критичного критерію Кохрена:

$$G = \frac{s_{i \max}^2}{\sum_{i=1}^N s_i^2} = 0,133 .$$

Так як при довірчій імовірності  $P_{\text{дов}} = 0,95$ , і числі вільності  $k_1 = m-1=10-1=9$ ,  $k_2 = N = 9$  критичне значення критерію Кохрена –  $G_{kp} = 0,2659$  [11], гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується, оскільки  $G_{kp} > G$ .

Переконавшись у однорідності дисперсій, перейдемо до визначення оцінок коефіцієнтів:

Отже, шукане рівняння регресії буде мати вигляд

$$\Delta = b_0 + \sum_{i=0}^5 b_i x_i , \quad (1)$$

де  $\Delta$  – розбивка отвору, мкм;  $x_i$  – значення чинників у кодованому масштабі;  $b_i$  – коефіцієнти регресії.

Таблиця 3

Матриця планування і результати експериментів зі встановлення впливу розподілу твердості в тілі вінців шарошок доліт 244,5 ОК-ПГВ-D26 на величину розбивки отворів під вставні твердосплавні зубки

Умови	Фіктивна змінна	Твердість на відповідних контрольних точках, HRC				Розбивка отвору $\Delta$ , мкм	Дисперсія
		42	41	40	39		
[0]	[J]	42	41	40	39	18	14,889
[J]		1	1	1	2		
[+1]		43	42	41	41		
[−1]		41	40	39	37		
Код	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$\bar{y}_i$	$s_i^2$
1	+	+	+	+	+	18	14,889
2	+	−	+	+	−	17	14,000
3	+	+	−	+	−	15	16,667
4	+	−	−	+	+	18	11,333
5	+	+	+	−	−	13	10,889
6	+	−	+	−	+	19	10,667
7	+	+	−	−	+	14	14,444
8	+	−	−	−	−	12	15,111
9	+	0	0	0	0	19	12,667

Коефіцієнти регресії рівняння (1) визначаються з виразу

$$b_i = \frac{\sum x_{ij} \Delta_i}{N}, \quad (2)$$

де  $i$  – номер чинника;  $j$  – номер досліду;  $N$  – кількість дослідів у матриці планування. Розрахунки дали такі значення коефіцієнтів регресії:

$$b_0 = 16,111; \quad b_1 = 1,441; \quad b_2 = 0,889; \quad b_3 = 1,111; \quad b_4 = 1,333.$$

Дані коефіцієнти рівняння регресії оцінювали на статистичну значимість за критерієм Стьюдента. Сутність цієї операції ґрунтуються на тому, що зміна вихідної величини залежить від впливу  $i$ -того члена апроксимуючого полінома і некерованих та неконтрольованих чинників.

Вплив  $i$ -того чинника, відхилення оцінки  $i$ -того коефіцієнта від нуля враховується коефіцієнтом

$$t_i = \frac{|b_i|}{s_i^2 \{b_i\}}, \quad (3)$$

а вплив некерованих чи неконтрольованих чинників, а також помилки вимірювання вихідної величини може бути враховано за допомогою дисперсії відтворюваності  $s_B^2$ , що має  $N(m-1)$  ступенів вільності.

У цьому випадку оцінка дисперсії відтворюваності  $s_B^2$  визначиться як оцінка усереднених порядкових дисперсій:

$$s_B^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i^2 = 13,407.$$

Завдяки властивості нормування, оцінки коефіцієнтів знайдені з однаковою дисперсією:

$$s^2 \{b_i\} = \frac{s_B^2}{Nm} = 13,975,$$

тоді  $s_i^2 \{b_i\} = 0,394$ .

Розрахункові значення коефіцієнта Стьюдента:

$$t_0 = 40,891; \quad t_1 = 3,665; \quad t_2 = 2,256; \quad t_3 = 2,820; \quad t_4 = 3,383.$$

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Оскільки значення критерію Стьюдента  $t_T = 1,960$  [11] (вибирається залежно від довірчої ймовірності  $P_{\text{дов}} = 0,95$  та числа вільності  $k = (m-1)N = (10-1) \cdot 9 = 81$ ) менше за експериментальні значення критерію Стьюдента, можна твердити, що всі коефіцієнти моделі значимі.

Отже, вплив розподілу твердості в тілі вінців шарошок доліт 244,5 ОК-ПГВ-D26 на величину розбивки отворів під вставні твердосплавні зубки описується рівнянням регресії:

$$\Delta = 16,111 + 1,441x_1 + 0,889x_2 + 1,111x_3 + 1,333x_4. \quad (4)$$

Правильність поставленого експерименту перевіряли так. Для кожного коефіцієнта  $b_i$  знаходили довірчий інтервал, у який повинен потрапити істинний генеральний коефіцієнт  $b_i^g$  із прийнятим рівнем значимості, з цією метою використано відому формулу:

$$\hat{b}_i - t_T \cdot s_{\hat{b}_i} \left\{ < b_i^g < \hat{b}_i + t_T \cdot s_{\hat{b}_i} \right\},$$

де  $t_T = 1,960$  – критерій Стьюдента.

На основі знайдених істинних значень коефіцієнтів можна записати рівняння, які обмежують геометричне місце точок, де буде знаходитись істинна залежність:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 15,354 + 0,687x_1 + 0,132x_2 + 0,354x_3 + 0,576x_4, \\ \Delta_2 &= 16,868 + 2,201x_1 + 1,646x_2 + 1,868x_3 + 2,09x_4. \end{aligned}$$

Перевірка адекватності рівняння регресії здійснена оцінюванням відмінності середнього значення  $\bar{y}_i$  вихідної величини (отриманої в точках простору чинників) і значення  $y_i$  (отримані з рівняння регресії в тих же точках простору чинників). Для цього обчислювали дисперсію адекватності:

$$s_{\text{ад}}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$$

де  $m$  – кількість паралельних дослідів в  $i$ -тій точці простору чинників;

$l$  – кількість визначених у результаті проведення  $N$  дослідів значимих коефіцієнтів.

Отже, для отриманої моделі (4) оцінка дисперсії адекватності здійснена так. Розраховані значення  $y_i$ , що відповідає рядкам матриці плану експерименту (табл. 3):

$$\begin{aligned} y_1 &= 20,888; \hat{y}_1 = 15,334; \hat{y}_2 = 16,444; \hat{y}_3 = 16,222; \hat{y}_4 = 16,000; \hat{y}_5 = 15,778; \hat{y}_6 = 16,888; \hat{y}_7 = 11,334; \\ \hat{y}_8 &= 17,555; \end{aligned}$$

тоді  $s_{\text{ад}}^2 = 77,693$ .

Оскільки  $s_{\text{ад}}^2 \neq 0$ , то є імовірність помилки у вибраному поліномі апроксимації, а також можлива випадкова похибка сприймання, що характеризується дисперсією відтворювання. Коли модель адекватна, то оцінка дисперсії адекватності і оцінка дисперсії відтворюваності залежить тільки від похибки сприйняття вихідної величини, яка спричинена спотвореннями, і в границі вони будуть однаковими. Тому адекватність отриманої моделі перевіряли шляхом порівняння двох дисперсій  $s_{\text{ад}}^2$  і  $s_B^2$  та  $F$  – критерію Фішера:

$$F_p = \frac{s_{\text{ад}}^2}{s_B^2} = 5,559.$$

Табличне значення коефіцієнта Фішера при значеннях числа ступенів вільності  $f_2 = N - (k+1) = 9 - (4+1) = 4$  та  $f_1 = N(m-1) = 9(10-1) = 81$  довірчої ймовірності  $P_{\text{дов}} = 0,95$ ,  $F_T = 5,68$  [11], отже,  $F_p < F_T$ . Це означає, що за вибраного рівня п'ятирічного відхилення, отримана математична модель (4) є адекватна об'єкту дослідження.

З моделі (4) випливає, що найбільш сильно розбивка отвору у нецементованих вінцях шарошки залежить від плавності зміни твердості по глибині. Найбільший вплив на значення розбивки отворів спрямлюється зниженою (нижній рівень) чи завищеною (верхній рівень) твердістю на поверхні та в ділянці їх dna. Вплив значень твердості на половині глибини отвору співмірний із характером впливу твердості на рівні dna отвору. Тим не менше, при значеннях твердості у цих ділянках на нижньому рівні, за умов порівнянно більшої твердості в ділянці dna, значення розбивки отвору різко зростає. При значеннях

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

значеннях твердості біля дна отвору (твердість на верхньому рівні), як і при відпрацьовуванні операції свердління, фіксували затуплення та пошкодження різальних кромок інструменту. Деяло вищі значення твердості в ділянках від поверхні до половини глибини отвору, порівняно із твердістю біля його дна, позитивно впливають на центрування інструмента при різанні.

Наступним етапом дослідження є пошук градієнту рівняння (4) і реалізація дослідів у напрямку цього градієнта з метою відшукати оптимальні параметри твердості сталі вінців шарошки. Послідовність реалізації цього етапу здійснювалась шляхом крутого піднімання згідно рекомендацій [12]. Результати такого руху показано в табл. 4.

За допомогою добутку  $b_i \times J$  здійснювали перехід до натурального масштабу інтервалів варіації. Коефіцієнт пропорційності  $K_i$  визначали за допомогою формули

$$K_i = \frac{|b_i \times J|}{|b_i \times J|_{\max}}.$$

Для чинника з найбільшим добутком  $|b_i \times J|$  вибирається інтервал варіації для руху по градієнту. Інтервали всіх інших чинників  $J_i^*$  отримали, помноживши величину вибраного інтервалу на коефіцієнт пропорційності  $K_i$ . Знак „–“ кроку встановлювали на основі даних здійснених експериментів, які вказують на те, що значення чинників необхідно зменшувати. Для реалізації експериментів значення кроку заокруглено до зручних значень.

**Таблиця 4**  
**Розрахунки для руху по градієнту отриманої лінійної моделі**

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$\bar{y}_i$	$s_i^2$
$b_i$	1,444	0,889	1,111	1,333	Розбивка отвору $\Delta$ , МКМ	Дисперсія
$b_i \times J$	1,444	0,889	1,111	2,666		
$K_i$	0,542	0,333	0,417	1		
$J_i^*$	-0,542	-0,333	-0,417	-1		
Крок [ $\delta_1$ ]	-0,5	-0,5	-0,5	-1		
Основний рівень	42	41	40	39	19	12,667
1	41,5	40,5	39,5	38	12	10,000
2	41	40	39	37	17	12,889
3	40,5	39,5	38,5	36	20	13,333

Дослідження показали найкращий результат, мінімальне значення розбивки отвору, – 12мкм. Він отриманий при плавному розподілі твердості від поверхні вінця у його глибину: HRC41,5 – поверхня вінця шарошки; HRC40,5 – на глибині вінця 2мм; HRC39,5 – на половині глибини отвору (5мм); HRC38 – в ділянці дна отвору (10мм). Отримані дані є близькими до оптимальних. У результаті оптимізації градієнту твердості по глибині отвору вдалося зменшити розбивку отвору на 58% порівняно з основним рівнем.

**Висновки.** Експериментально обґрунтовано вибір інструменту для свердління отворів під твердосплавні вставні зубки у вінцях шарошок бурових доліт діаметром 244,5 мм, а також встановлені оптимальні параметри процесу свердління.

Встановлено вплив характеру розподілу твердості в тілах вінців шарошок доліт 244,5 ОК-ПГВ-D26 на величину розбивки отворів під вставні твердосплавні зубки. Встановлена математична модель, що дозволяє визначати оптимальні вимоги до розподілу значень твердості по перерізу вінця шарошки (від поверхні у серцевину), на глибину отворів під вставні зубки. Деяло вищі значення твердості в ділянках від поверхні до половини глибини отвору (HRC42-41), порівняно із твердістю біля його дна (HRC38-37), позитивно впливають на центрування інструмента при різанні. Зважаючи на те, що при виготовленні шарошок застосовують плавки сталі 14ХН3МА які мають широкий спектр розсіювання значень прогартовування рекомендується:

Застосовувати ті плавки сталі, які дають мінімальну різницю між твердістю на відстані від торця стандартного зразка 6,5мм та на відстані від торця 30мм.

Для попередження виникнення високої твердості в ділянці дна отвору слід покращити якість виконання операцій захисту вінців від цементації та термообробок.

Термообробка шарошок повинна забезпечувати плавну зміну твердості (HRC42-41 на поверхні) вінця шарошки по його перерізу на глибину отвору (HRC39-38), що дає мінімальні значення розбивки отворів.

Широке поле розсіювання значень твердості вінців шарошок по їх перерізу веде до браку через непрогнозоване відхилення розмірів отворів, а також зниження довговічності інструменту, зростання інтенсивності його відмов, у тому числі його раптове руйнування.

Зауважимо, що деформація та викривлення геометричних розмірів шарошки після термообробки є причиною утворення нерівномірного припуску на обробку [13]. Також часто фіксується нерівномірний розподіл твердості сталі вінця шарошки. Тому надалі перспективним є вивчення причин та характеру зміни величини деформації та викривлення геометричних розмірів шарошок бурових доліт. Це дасть змогу більш точно проектувати технологічні операції механічного оброблення не тільки порожнини шарошки [13], а й отворів у вінцях під вставні твердосплавні зубки.

### Інформаційні джерела

1. Крылов К. А. Повышение долговечности и эффективности буровых долот. / К. А. Крылов, О. А. Стрельцова. – М.: Недра, 1983. – 206с.
2. Вплив глибини цементованого шару шарошки на точність форми оброблювального отвору під запресовку зубків / Б.О.Борущак, Ю.Д.Петрина, Л.О.Борущак, В.Т.Ілик // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ – Серія: Нафтогазопромислове обладнання. – Івано-Франківськ. – 1998. – Випуск 36 (Том 4). – С. 100-108.
3. Петрина Ю. Д. Вплив фізико-механічних властивостей сталі шарошки на точність формування отворів під посадку твердосплавних зубків / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, Т. Б. Пасинович // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наукових праць. – Краматорськ: Донбаська ДМА, – 2008. – № 1 (11). – С. 135-140.
4. Петрина Ю.Д. Підвищення точності та чистоти обробки отворів для посадки зубків в шарошці бурового долота / Ю. Д. Петрина, Р.С.Яким, Т. Б. Пасинович // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2007. – Том 12. – №4. – С.92–101.
5. Яким Р. С. Науково-практичні основи технології виготовлення тришарошкових бурових доліт та підвищення їх якості і ефективності: монографія / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, І.С.Яким. – Івано-Франківськ: Видання ІФНТУНГ, 2011. – 384 с.
6. Яким Р. С. Науково-прикладні засади підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.12 / Яким Роман Степанович. – Івано-Франківськ, 2012. – 293 с.
7. Набатников Ю.Ф. Обеспечение качества соединений „твердосплавная вставка - отверстие” шарошечных буровых долот / Ю. Ф. Набатников, Сизова Е. И. // Горное оборудование и электромеханика. - 2008. – № 3. – С. 20 – 23.
8. Петрина Ю. Д. Підвищення надійності з'єднання „шарошка-зубок” в трьохшарошкових бурових долотах / Ю. Д.Петрина, Р. С. Яким, Т.Б.Пасинович // Машиностроение и техносфера XXI века: сборник трудов XIV международной научно-технической конференции. (Севастополь 17-22 сентября 2007 г.) В 5-х томах, Т.3. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – С.168–172.
9. Підвищення надійності вставних породоруйнівних зубків в тришарошкових бурових долотах / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, Д. Ю. Петрина, Т. П. Венгринюк, Н. Я. Пицків // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. – № 1 (50). – С. 82 – 87.
10. Петрина Ю. Д. Основи наукових досліджень для інженерів. / Ю.Д.Петрина, Р. С. Яким – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 153 с.
11. Большев Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. – М.: Наука, 1965. – 464 с.
12. Винарский М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарский, М. В. Лурье. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.
13. Яким Р. С. Забезпечення якісних конструкторських показників цементованих шарошок тришарошкових бурових доліт вдосконаленням технології їх виготовлення / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. – № 1 (50). – С. 33 – 43.