



Прийнято 20.12.2025. Прорецензовано 22.12.2025. Опубліковано 30.12.2025.

УДК 006.86:62–189.2(075.8)

DOI: 10.31471/1993-9965-2025-2(59)-123-133

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ, СТАНДАРТИЗАЦІЇ І ТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБКІВ БУРОВИХ ДОЛІТ

Шуляр І. О. *

Кандидат технічних наук, доцент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0820-1117>
e-mail: ira.shuliar@gmail.com

Кустов В. В.

Кандидат технічних наук, доцент
ВСП Івано-Франківський фаховий коледж Львівського національного університету
природокористування
вул. Юності, 11, м. Івано-Франківськ, 76494, Україна
e-mail: v.v.kustov@ukr.net

Пітулей Л. Д.

Кандидат технічних наук, доцент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2320-4500>
e-mail: lolita.pitulei@nung.edu.ua

Шуляр Б. Р.

Кандидат технічних наук, доцент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
<https://orcid.org/0009-0002-5990-8753>
e-mail: bogdan.shuliar@gmail.com

Вихованець В. Я.

Кандидат сільськогосподарських наук
ВСП Івано-Франківський фаховий коледж Львівського національного університету
природокористування
вул. Юності, 11, м. Івано-Франківськ, 76494, Україна
e-mail: viktor8468@ukr.net

Запропоноване посилання: Шуляр, І. О., Кустов, В. В., Пітулей, Л. Д., Шуляр, Б. Р., Вихованець, В. Я. & Бургарт, Д. І. (2025). Застосування методів взаємозамінності, стандартизації і технічних вимірювань для оцінювання точності виготовлення зубків бурових доліт. Науковий вісник ІФНТУНГ, 2(59), 123-133. doi: 10.31471/1993-9965-2025-2(59)-123-133

* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Бургарт Д. І.

Магістрант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

e-mail: dianaburgart8@gmail.com

Анотація. В роботі розглянуто питання застосування методів статистичного контролю для вдосконалення якості виготовлення зубків шарошок бурових доліт відцентровим армуванням. Було розроблено методику оцінювання точності геометричних розмірів заготовок зубків шляхом статистичної обробки результатів їх вимірювань. На підставі отриманих даних встановлювався квалітет точності. Для досліджування розсіювання розмірів, яке виникає в процесі відливання зубків, використовувались такі статистичні характеристики: для малих вибірок деталей – середнє арифметичне $\bar{x}$, дисперсія S^2 або середнє квадратичне відхилення S , а також розмах розсіювання розмірів R . Для великих партій виробів використовувалось також поняття математичного сподівання $M(x)$ та крива розподілу. В дослідженні побудовано графік розподілу випадкових величин у вигляді гістограми і криву – полігон розподілу або емпіричну криву розподілу. За характером графіку було висунуто гіпотезу про відповідність кривої розподілу нормальному закону. За результатами дослідження великої вибірки було встановлено межі, в середині яких з певною точністю будуть знаходитися випадкові розміри діаметрів хвостовиків зубків, отримані при виготовленні зубків за заданим технологічним процесом. За практичне поле розсіювання випадкової величини (розміру) прийняте поле, яке дорівнює $6S$. Розміри цього поля прирівняно до величини допуску T_d на виготовлення $T_d = 6S$. При цьому ймовірність виходу випадкової величини розміру за межі $\pm 3S = 0,027$. Рівень точності (квалітет) в роботі визначався для номінального розміру діаметра хвостовика зубка $d = 8$ мм і величини допуску $T_d = 0,168$ мм за табл. ДСТУ ISO 286-2.

Ключові слова: якість продукції; відцентрово армований зубок; статистична обробка результатів вимірювань; статистичні характеристики, гістограма, крива розподілу, рівень точності.

Вступ

Завдання розвитку нафтової і газодобувної промисловості вимагають значного збільшення об'ємів гірничих виробіток. Разом із підвищенням обсягів видобування одночасно передбачається скорочення строків їх введення в експлуатацію та підвищення рентабельності робіт. В цьому випадку підвищення швидкості проходки гірських виробіток має першочергове значення [1, 2]. У зв'язку з цим необхідне подальше вдосконалення гірничодобувної техніки і, в першу чергу, породоруйнівного інструменту. Основним інструментом для нафтогазовидобування є шарошкові долота, якими виконується переважний обсяг експлуатаційного та розвідувального буріння свердловин на нафту та газ. Працездатність шарошкових доліт чинить вирішальний вплив на техніко-економічні показники бурових робіт. Тому актуальним в даному напрямку є питання конструктивного вдосконалення його складових елементів [3, 4], пошуку нових матеріалів та їх комбінацій [5, 6], раціоналізація існуючих та впровадження прогресивних технологій виготовлення породоруйнівних елементів оснащення [7].

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

Породоруйнівним елементом бурових доліт є шарошки, споряджені зубчастим оснащенням, виконаним у вигляді суцільних та вставних зубків. Існує ряд методів виготовлен-

ня шарошкових доліт із зубчастим оснащенням. В теперішній час випускаються долота з клиноподібними фрезерованими та литими зубками, твердосплавними зубками, запресованими в корпус шарошки та з комбінованим оснащенням у вигляді клиновидних та твердосплавних зубків [8, 9]. Для буріння середніх і м'яких порід застосовують долота з фрезерованими [10] та литими зубками. Технологія виготовлення шарошок з фрезерованими зубками має суттєві недоліки, а саме:

- клиноподібний зубок в середній частині має послаблений переріз;
- волокна металу зубків – перерізані;
- продуктивність процесу фрезерування низька, тож виникають значні втрати металу;
- кінематика процесу фрезерування зубків обмежує створення більш раціональних їх форм.

Для підвищення зносостійкості зубчастого оснащення шарошок здійснюють поверхневе армування релітом. Даний процес розпочинається зі змішування зернистого реліту з розтопленим поверхневим шаром металу. Поверхню зубків для армування нагрівають струмами високої частоти або газовим полум'ям. Армований шар – крихкий, неоднорідний, внаслідок чого виникають тріщини і відбувається крихке викришування. Особливо низькою якістю відрізняються долота з поверхнево армованими литими зубками. Пояснюється це тим, що шар



а – плоска форма голівки; б – сферична форма голівки

Рисунок 1 – Будова твердосплавних зубків

реліту наплавляється на поверхню зубків, покрити ливарною шкіркою, яка містить різні неметалеві включення.

Для отримання зубчастого оснащення з покращеними експлуатаційними властивостями використовують гаряче накатування. Для цього процесу характерна висока продуктивність і покращені якості зубчастого оснащення. Формування зубків здійснюється при взаємному обкочуванні інструмента і нагрітої заготовки. Накатування зубків повного профілю виконується за три оберти накатного інструмента. За продуктивністю один накатний стан замінює 20-25 зубофрезерних верстатів. Основна перевага гарячого накатування – покращення структури металу зубчастого оснащення. В процесі формування зубків метал із западин переміщується у вершини. В напрямку потоку метал утворюється волокниста структура. Механічні властивості кованого і штампованого металу вздовж напрямку волокон, як правило, вища ніж в поперечному напрямку. При цьому ударний опір, поперечне звуження, відносне видовження і границя втоми підвищується до 20 %. Збільшення показників механічних властивостей, в свою чергу, впливає на ріст довговічності бурових доліт. Перевагою гарячого накатування є можливість отримати зубчасте оснащення Г-Т-П-подібної форми без додаткової обробки. Покращення механічних характеристик зубчастого оснащення у сукупності з можливістю отримання його раціональних форм при гарячому накатуванні сприяє підвищенню довговічності бурових доліт. Після механічної обробки шарошки з накатаними зубками піддають цементації і термообробці за серійною технологією. Недоліком доліт вказаної конструкції є обмеженість їх застосування, оскільки здебільшого використовуються для буріння м'яких порід.

Для руйнування більш твердих порід у сучасній техніці буріння використовують долота із суцільними твердосплавними зубками з го-

ловкою клиноподібної або сферичної форми, запресованими у корпус шарошок долота [11, 12, 13]. Під час роботи такого бурового інструмента діють знакозмінні динамічні навантаження, під час яких зубки можуть розтріскуватися, сколюватися, руйнуватися, розбивати отвір в тілі інструмента і випадати. Такі негативні фактори призводять до потрапляння зруйнованих твердосплавних елементів у вибій з наступним виходом бурового долота з ладу. Крім того, недоліком таких зубків є нераціональне використання дефіцитних, дорогих твердих сплавів, тому що більша частина зубка кріпиться у корпусі шарошки. Одним із шляхів вирішення впливу вказаних ускладнень із застосуванням вставних зубків є створення їх конструкцій на основі композитів матеріалів. Суть таких композицій полягає в тому, що в об'ємі породоруйнівних елементів (зубків) створюється армована зона з використанням зносостійких твердих сплавів і металевих матриць. Регулювання процесів розчинення твердого сплаву і додаткового легування металозв'язки об'єму армованої зони в процесі відцентрового литва дозволяє поряд з концентрацією твердого сплаву створювати оптимальні композиції з набором диференційованих властивостей, які задаються на стадії виготовлення за рахунок їх автоматичного регулювання [14]. Реалізація процесу виготовлення таких зубків, що ґрунтується на використанні технології відцентрового литва призводить до розміщення твердого сплаву в голівці зубка і відповідає її технологічному призначенню – руйнування гірської породи, а також дозволяє збільшувати поверхню армування за рахунок відповідної зміни її форми і зони армування [15].

Перевагою доліт, оснащених відцентрово армованими зубками, є зниження утрічі витрат вольфраму і забезпечення надійного з'єднання «зубок – шарошка». Також для підвищення надійності такого з'єднання проводять електроконтактне приварювання відцент-

рово армованих зубків до корпусу шарошки. При цьому значно спрощується технологія виготовлення таких шарошок і збільшується їх жорсткість.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Раніше було встановлено загальні закономірності процесу об'ємного армування в ході відцентрового литва і залежності параметрів якості породоруйнівних елементів доліт (зубків) від основних параметрів згаданого процесу, а саме, від технологічних режимів литва, температури рідкого металу і маси армуючих частинок та їх розмірів, фізико-механічних властивостей армованої зони. Робіт із дослідження даної технології як об'єкта для проведення механічної обробки зубків є значно менше. Певним кроком в цьому напрямку можуть стати результати представленої роботи, присвячені оцінюванню точності виготовлення геометричних розмірів заготовок зубка. Цей фактор, як відомо, суттєво впливає на обсяг і зміст процесу механічної обробки, довжину технологічного маршруту, впливаючи не тільки на техніко-економічні показники цього процесу, а, в кінцевому рахунку, і на техніко-економічні показники процесу буріння (через точності розмірів для запресування зубків)

Формулювання цілей

Метою даної роботи є дослідження точності геометричних розмірів виготовлення зубків шарошок бурових доліт відцентровим литвом із застосуванням методів статистичного аналізу.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

Збільшення випуску високоякісної продукції є одним з основних напрямків господарської діяльності підприємства. Вирішення цієї задачі вимагає постійної, цілеспрямованої роботи на всіх ділянках, починаючи з моменту проектування виробу і закінчуючи здачею його споживачу. Поряд із дотриманням технологічної дисципліни необхідне подальше вдосконалення методів і форм контролю, особливо в умовах серійного і масового виробництва. Велика роль при цьому належить автоматизованим системам регулювання і контролю технологічних процесів, а також методам статистичного контролю ознак або інакше показників, що характеризують якість виробу. Відомо, що в процесі виготовлення неможливо точно дотриматися заданої величини показника якості

продукції. Якість сировини, налагодження обладнання і інші суттєві для виробництва показники піддаються випадковим коливанням, які зрештою впливають на якість виробу, а це, в свою чергу, викликає розсіювання значень показника якості продукції [16].

В нашому дослідженні таким змінним показником було обрано розмір діаметра хвостовика зубка. При цьому буде спостерігатися не тільки розсіювання величини розміру, а і розсіювання даного показника при багаторазових замірах одного і того ж зразка. Ці явища, як відомо, називаються випадковими величинами. Вони поділяються на дискретні та неперервні. Дискретні випадкові величини в результаті випробовувань можуть набувати лише окремі, здебільшого цілі числові значення і не можуть набувати значень, проміжних між ними. Неперервні випадкові величини в результаті випробовувань можуть набувати будь-яких числових значень з неперервного ряду їх можливих значень у межах певного визначеного інтервалу. В нашому випадку дійсні розміри зубків відлиті на установці відцентрового армування [17] є випадковими величинами неперервного типу. Характерною їх ознакою є коливання значень, які приймаються у повторних дослідях. Дані похибки виникають внаслідок дії низки випадкових факторів. Це, наприклад, механічні властивості матеріалу, припуск на механічну обробку, вимірювальні зусилля та інше. При цьому жоден з цих факторів не є домінуючим. Слід відмітити, що видалити випадкові похибки неможливо, однак вплив їх можна зменшити. Наприклад, формуванням більш рівномірного припуску на обробку, більш однорідної твердості і структури матеріалу, стабілізації вимірного зусилля. Вплив випадкових похибок, як відомо, враховується допуском на той чи інший параметр якості. В нашому випадку – допуском на розмір. Однак простий перелік отриманих при вимірюваннях значень ще не відтворює результатів перевірки або дослідження. Існують дві важливі характеристики, які в стислій формі відображають результати дослідження. Одна з них описує середні значення, а друга – відхилення окремих значень від середніх [18]. Це, як відомо, є статистичні характеристики. Перша – середнє арифметичне медіана (для малих вибірок), а друга – дисперсія і розмах. Середнє арифметичне величини X визначається за виразом

$$\bar{X} = \sum_{i=0}^N X_i \cdot \frac{f_i}{N}. \quad (1)$$

Іншою статистичною характеристикою, що відтворює середнє положення спостережених значень у ряді, є медіана X . Якщо отримані при вимірюваннях середні значення розмістити у зростаючому або спадаючому, медіаною X є середнє арифметичне двох значень, розміщених в середині ряду. При непарному числі вимірів медіаною є значення, яке займає середнє положення в ряду. При використанні статистичної характеристики положення медіани доцільно виконувати непарну кількість вимірів.

Друга статистична характеристика ряду спостережених значень показує, як тісно групуються окремі значення навколо середнього арифметичного, або як вони розсіюються навколо середнього. Арифметична сума відхилень окремих значень X_i від середнього арифметичного $\bar{X}$ дорівнює нулю

$$\sum_{i=0}^N X_i - \bar{X} = 0 \quad (2)$$

і непридатна як міра розсіювання. Тому за міру розсіювання приймають суму квадратів відхилень окремих значень X_i від середнього арифметичного $\bar{X}$, поділену на кількість спостережень (дослідів), а саме, дисперсія S^2 :

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2, \quad (3)$$

де n – кількість дослідів,

X_i – контрольовані значенні змінної величини,

$\bar{X}$ – середнє арифметичне значення змінної величини

$$\bar{X} = \frac{1}{n} (X_1 + X_2 + \dots + X_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N X_i. \quad (4)$$

Якщо перетворити вираз (3) то отримаємо:

$$\begin{aligned} S^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (X_i^2 - 2X_i\bar{X} - \\ &- \bar{X}^2) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N X_i^2 - 2\bar{X} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N X_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \bar{X}^2 = (5) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N X_i^2 - \bar{X}^2 \end{aligned}$$

Слід зауважити, що обчислення спрощуються з використанням цієї залежності (5) при застосуванні обчислювальної техніки, де суму квадратів всіх значень X_i досліджуваної величини можна отримати за допомогою однієї обчислювальної операції.

Замість дисперсії S^2 часто застосовують емпіричне середньоквадратичне відхилення S ,

яке має ту ж саму розмірність, що і середнє арифметичне $\bar{X}$, і визначається за виразом

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}. \quad (6)$$

Оскільки визначення середнього квадратичного відхилення S пов'язано з певними труднощами, то як міру коливання (варіювання) окремих значень всередині ряду (вибірки) використовують розмах

$$R = X_{\max} - X_{\min}, \quad (7)$$

де $X_{\max}$ – найбільше значення ряду спостережень (вибірки),

$X_{\min}$ – найменше значення ряду спостережень (вибірки).

Цей статистичний показник легко визначається для вибірок невеликого діапазону.

Для великої вибірки N випадкових величин X_i (значень) характеристика, що визначає положення центру групування, є математичним очікуванням $M(x)$. Для дискретних величин визначається за виразом

$$M(x) = \sum_{i=1}^N X_i \cdot P(X_i), \quad (8)$$

де N – число можливих значень випадкової величини X_i ,

$P(X_i)$ – ймовірність випадку, тобто появи (реалізації) випадкової величини.

При вибірках, які містять відносно невелику кількість даних, наприклад, виготовлених деталей, обчислюють за допомогою відносної частоти m_a появи того чи іншого випадку до загальної кількості дослідів N .

$$m_a = \frac{f}{N}, \quad (9)$$

f – частота появи випадку a .

При цьому буде

$$P(X_i) = \frac{f_i}{N},$$

де f_i – частота появи, наприклад, одного і того ж розміру X_i .

N – величина вибірки, тобто загальне число, наприклад, вимірів або деталей.

При відносно невеликих вибірках N середнє арифметичне $\bar{X}$ обчислюють за виразом (1)

$$\bar{X} = \sum_{i=0}^N X_i \cdot \frac{f_i}{N},$$

де X_i – випадок,

f_i – частота виникнення випадку,

N – загальна кількість дослідів.

Різницю між величиною X_i і її середнім арифметичним $\bar{X}$ визначають як відхилення від середнього значення (залишкова похибка)

$$V_i = X_i - \bar{X}. \quad (10)$$

Для випадкових величин X_i значення залишкової похибки V_i є теж випадковою величиною. Як вже було відзначено, середнє арифметичне значень величини $\bar{X}$ визначає центр розподілу випадкових похибок. Він відповідає нулю, тобто $\sum V_i = 0$.

Характер розподілу похибок відтворюється графічно у вигляді кривої розподілу, яка відповідає певному розподілу випадкової величини. При цьому на осі абсцис відмічають значення випадкової величини, а по осі ординат – абсолютні або відносні частоти, які відповідають їх значенням. Закон розподілу встановлює залежність між числовим значенням випадкової величини і ймовірністю його появи $P(X_i)$ (або відносної частоти появи, наприклад, розміру). Характер розсіювання емпіричних значень випадкової величини в більшій сукупності їх приблизно відповідає якомуньбудь теоретичному закону розподілу. Так, розсіювання значень випадкової величини, вимірювання значень якої залежить від великої кількості факторів, коли жоден із факторів немає превалюючого значення описується законом нормального розподілу – законом Гауса. Цьому закону підпорядковуються багато неперервних випадкових величин, що зустрічається в техніці. Наприклад, похибки вимірювання лінійних розмірів, висота мікронерівностей на оброблюваній поверхні, похибки вимірювання кутівих розмірів.

Випадкові похибки, що підпорядковуються закону нормального розподілу, характеризуються тим, що малі за величиною похибки зустрічаються частіше за великі, від'ємні і додатні похибки. Рівні за абсолютною величиною похибки зустрічаються однаково часто. Крива, яка відтворює щільність розподілу ймовірності за нормальним законом, визначається рівнянням для випадку, коли початок координат співпадає із середнім значенням випадкової величини, тобто $V_i = X_i - \bar{X} = 0$.

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (11)$$

де Y – щільність ймовірностей випадкової похибки X ;

σ – середнє квадратичне відхилення випадкової величини від центра групування;

$X = V_i = X_i - \bar{X}$ – відхилення випадкової величини від центра групування;

$\ell = 2,71828$ – основа натурального логарифма.

Для дискретних величин середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=0}^N [X_i - M(x)]^2 \cdot P(X_i)} \quad (12)$$

Величина σ є характеристикою теоретичного розподілу, тобто генеральної сукупності при $N \rightarrow \infty$. При оцінці вибірових спостережень розсіювання випадкових величин відносно емпіричного центра характеризується емпіричним середнім квадратичним відхиленням

$$S = \sqrt{\sum_{i=0}^N (X_i - \bar{X})^2 \frac{n_i}{N}} = \sqrt{\sum_{i=0}^N V_i^2 \frac{n_i}{N}}. \quad (13)$$

Ми вирішуємо задачу із встановлення точності хвостовиків зубків, якими вони запресовуються у корпус шарошки. Для цього проводимо вимірювання за допомогою гладкого мікрометра з ціною поділки шкали 0,01 мм. Приймаємо, що точність відліку рівне 0,04 мм, так як точність рівна $0,04 \cdot i_6$. Умови вимірювання: зубки необхідно контролювати в одному і тому ж перерізі, розміщеному всередині його довжини, дотримуючись постійності умов вимірювання. Хвостовики вимірювали в одному і тому ж перерізі (розміщеному посередині довжини зубка), дотримуючись при цьому постійності умов вимірювання. Отримані дійсні діаметральні розміри хвостовика $d_x = (x_i)$ розміщували в порядку зростання і заносимо їх значення в таблицю. Тим самим формуємо ряд випадкових величин дискретного характеру. Вибірка для оцінки точності зубків складала $N=50$ шт. Конструктивний розмір хвостовика – 8,0 мм. Визначаємо характеристики розсіювання. Для цього встановлюємо величину розмаху дійсних розмірів. І для спрощення розрахунків розмах розбиваємо на k -інтервалів. Число інтервалів рекомендується брати 8 – 15 [19]. В нашому випадку приймаємо $k=9$. Підраховуємо кількість деталей, які мають розміри, обмежені границями кожного інтервалу. Одержуємо число деталей в інтервалі

$n_1, n_2, \dots, n_k$ і відносні частоти $\frac{n_1}{N}, \frac{n_2}{N}, \dots, \frac{n_k}{N}$.

Дані заносимо у відповідну графу таблиці. Випадковими величинами вважають розміри, рів-

Таблиця 1 – Дійсні розміри хвостовика зубка

Дійсний розмір $d_i = x_i$, мм	Середнє значення інтервалу $\bar{x}_i$, мм	Число деталей в інтервалі n_i , шт	Відхилення від середнього значення $V_i = x_i - \bar{x}$, мм	Відносна частота $\frac{n_i}{N}$
понад 7,86 до 7,88	7,87	2	-0,06	0,04
понад 7,88 до 7,90	7,89	5	-0,04	0,10
понад 7,90 до 7,92	7,91	12	-0,02	0,24
понад 7,92 до 7,94	7,93	17	0	0,34
понад 7,94 до 7,96	7,95	8	0,02	0,16
понад 7,96 до 7,98	7,97	4	0,04	0,08
понад 7,98 до 8,00	7,99	2	0,06	0,04
		$\sum N = 50$		

ні середньоарифметичному з діаметрів кожного інтервалу. Наступним кроком є знаходження характеристик випадкових похибок, а саме, середньоарифметичного розміру $\bar{X}$ і емпіричного середньо квадратичного відхилення S . Величина $\bar{X}$ визначає емпіричний центр групування. Алгебраїчна сума відхилень від середнього має бути рівна нулю $V_i = 0$. Далі будемо гістограму і емпіричну криву розподілу. Характер розсіювання значень випадкової величини (дійсні розміри діаметра хвостовика зубка) наочно визначається гістограмою, яка складається з прямокутників, та емпіричною кривою, яка називається полігоном розподілу. По осі абсцис відкладаємо діаметри дійсних розмірів хвостовиків зубків у міліметрах, а по осі ординат - висоти прямокутників (для гістограми) або відрізки (для кривої), величини яких при рівних інтервалах пропорційні числу деталей в кожному інтервалі, тобто пропорційні n_i або $\frac{n_i}{N}$.

Виходячи з форми емпіричної кривої, значень $\bar{X}$ і емпіричного середньоквадратичного відхилення S висуваємо гіпотезу про відповідність її нормальному закону розподілу. Далі за результатами вибірки і за її об'ємом встановлюємо межі, всередині яких з певною ймовірністю будуть знаходитись випадкові величини X_i , отримані при виготовленні зубків, за розглянутою технологією. Оскільки площа обмежена кривою Гауса, яка лежить за межами значень $X = \pm 3\sigma$, дуже мала, ймовірність потрапляння туди випадкової величини рівна 0,0027. Отже, з ймовірністю, близькою до одиниці, можна стверджувати, що випадкова величина

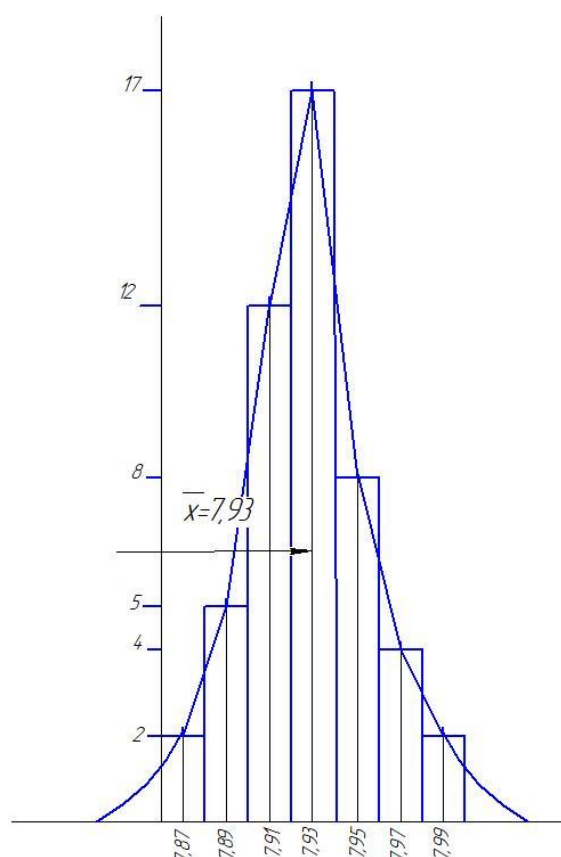


Рисунок 2 – Гістограма (1) і емпірична крива (2) розподілу значень випадкової величини діаметрів зубків

X_i не буде виходити за межі $\pm 3\sigma \approx \pm 3S$. Тому при розподілі випадкової величини за законом Гауса поле розсіювання, яке рівне $V_i = 6S$ (тобто від $-3S$ до $+3S$), приймаємо за практичне поле розсіювання випадкової величини і прирівнюємо до величини допуску на виготовлення $Td=6S$. При цьому ймовірність виходу випадкової величини за межі $\pm 3S$ дорівнює 0,0027. Квалітет (рівень точності) ви-

значаємо в залежності від величини номінального розміру (діаметру середини довжини зубка) та величини допуску $T_d=6S$ за рекомендаціями ДСТУ ISO 286-2.

Після побудови гістограми і емпіричної кривої, а також проведення розрахунків одержали $\bar{X} = 7,93$ мм, $S = 0,028$, $T_d = 0,168$ мм. Отже, рівень точності виготовлення хвостовиків зубків відповідає IT12 за ДСТУ ISO 286-2.

Висновок

Відповідно до запропонованої методики нами визначено квалітет точності зубків шарошкових доліт, виготовлених відцентровим

армуванням, що дає змогу оптимізувати технологічний маршрут наступної їх механічної обробки. Це також дозволяє нам раціоналізувати конструкцію оснащення для їх виготовлення.

Цей показник визначається, передусім, станом оснащення доліт, в якому роль породоруйнівних елементів виконують зубки.

Подяки

Відсутні.

Конфлікт інтересів

Відсутній.

Список використаних джерел

1. Majd H. M., Hassani B. Improvement of roller cone drill bit design by using finite element method and experimental study. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*. 2022. Vol. 31 (4). P. 382–405. <https://doi.org/10.1504/ijogct.2022.126826>
2. Hussain S., Rodriguez V. J. B., Boufama C. Innovative PDC Bit Design to Improve Drilling Performance in Highly Abrasive Sandstone Reservoirs. *Society of Petroleum Engineers - ADIPEC, ADIP* 2023. 2023. <https://doi.org/10.2118/216114-MS>
3. Savage M., Cardoe J., Kueck A., Huang X., Bomidi J. Advancing Drill Bit Design to Counter Challenges in Hard Rock Applications Using Full Scale Testing in Basalt. *Transactions - Geothermal Resources Council*. 2023. Vol. 47. P. 1139–1154. <https://www.geothermal-library.org/index.php?mode=pubs&action=view&record=1034870>
4. Deng R., Huang A., An M. Study on the Tooth Load of the Biconical-Profiled Single Cone Bit. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2021. Vol. 54 (12). P. 6235–6248. <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02610-z>
5. Šporin J., Mrvar P., Janc B., Vukelić Ž. Expression of the self-sharpening mechanism of a roller cone bit during wear due to the influence of the erosion protection carbide coating. *Coatings*. 2021. Vol. 11 (11). Art. no. 1308. <https://doi.org/10.3390/coatings11111308>
6. Balaev E., Shostak N., Samarin M., Klepikov D. Design features of drilling equipment elements using materials with shape memory effect. *Journal of Physics: Conference Series*. 2024. Vol. 2697 (1). Art. no. 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2697/1/012044>
7. Alieva L., Zhukov I. A. Upgrading rotary-percussion drilling of high-strength rocks by improving the structure of a rock-crushing blade-free tool. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024. Vol. 16 (4). P. 1681–1694. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-4-1681-1694>
8. Song D. et al. Experimental study on new structure teeth in a high-temperature environment. *Science Progress*. 2024. Vol. 107 (1). <https://doi.org/10.1177/00368504231215973>
9. Alqunais D., Teasdale P., Case M., Hababi A. Revolutionizing Drilling Efficiency in Highly Interbedded Formations Using A Sustainable Approach Through A Cutting-Edge Pdc Bit Design. *Society of Petroleum Engineers - ADIPEC* 2024. 2024. <https://doi.org/10.2118/221842-MS>
10. Koczkodaj S. et al. Comparison of the performance properties of commercially produced roller cone bit coatings. *Materials Science - Poland*. 2023. Vol. 41 (1). P. 110–123. <https://doi.org/10.2478/msp-2023-0008>
11. Slipchuk A. et al. The Influence of Technological Factors on the Reliability Connection for Tungsten Carbide Insert Cutter with Cone in the Roller Cone Bits. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. P. 443–452. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_44
12. Slipchuk A., Jakym R. Technological Parameters of Hole Shaping in the Cones Rolling-Cutter Row of Roller Cone Bits. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. P. 123–132. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_13
13. Song D. et al. Experimental study on new structure teeth in a high-temperature environment. *Science Progress*. 2024. Vol. 107 (1). <https://doi.org/10.1177/00368504231215973>

14. Шуляр І. О., Кустов В. В., Борушак Л. О., Вірстюк А. Б. Дослідження технології параметрів виготовлення армованих зубків шарошок бурових доліт. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2021. № 2 (51). С. 23–31. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-2\(51\)-23-31](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-2(51)-23-31)
15. Шуляр І. О., Богаченко О. М. Технологічний процес армування озброєння бурових доліт. *Інтелектуальний продукт вчених, винахідників і раціоналізаторів Прикарпаття (Каталог найвагоміших перспективних винаходів, корисних моделей, промислових зразків галицьких кмітливців)*. Івано-Франківськ, 2010. С. 14–15.
16. Боженко Л. І. Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні: навч. посібник. Львів: Світ, 2003. 328 с. https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2021/Bozhenko_2003_328.pdf
17. Машина для відцентрового литва і армування виливків: пат. 72194 Україна: МПІК В 22 D 13/02. Шуляр І. О., Борушак Л. О., Борушак С. Л. № u201201509. заявл. 13.02.2012. опубл. 10.08.2012. Бюл. № 15.
18. Когут М. С. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: підручник. Львів: Світ, 2014. 400 с. <https://vpu36balin.km.ua/wp-content/uploads/2025/05/%D0%92%82-2014.pdf>
19. Єременко В. С., Куц Ю. В., Мокійчук В. М., Самойліченко О. В. Статистичний аналіз даних вимірювань: навч. посіб. Київ: НАУ, 2013. 320 с. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/1e99dc7d-33a1-48a3-8cbf-9f5747564b2b/content>

References

1. Majd, H. M., & Hassani, B. (2022). Improvement of roller cone drill bit design by using finite element method and experimental study. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, 31(4), 382–405. <https://doi.org/10.1504/ijogct.2022.126826>
2. Hussain, S., Rodriguez, V. J. B., & Boufama, C. (2023). Innovative PDC bit design to improve drilling performance in highly abrasive sandstone reservoirs. *Society of Petroleum Engineers - ADIPEC, ADIP 2023*. <https://doi.org/10.2118/216114-MS>
3. Savage, M., Cardoe, J., Kueck, A., Huang, X., & Bomidi, J. (2023). Advancing drill bit design to counter challenges in hard rock applications using full scale testing in basalt. *Transactions - Geothermal Resources Council*, 47, 1139–1154. <https://www.geothermal-library.org/index.php?mode=pubs&action=view&record=1034870>
4. Deng, R., Huang, A., & An, M. (2021). Study on the tooth load of the biconical-profiled single cone bit. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54(12), 6235–6248. <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02610-z>
5. Šporin, J., Mrvar, P., Janc, B., & Vukelić, Ž. (2021). Expression of the self-sharpening mechanism of a roller cone bit during wear due to the influence of the erosion protection carbide coating. *Coatings*, 11(11), Article 1308. <https://doi.org/10.3390/coatings11111308>
6. Balaev, E., Shostak, N., Samarin, M., & Klepikov, D. (2024). Design features of drilling equipment elements using materials with shape memory effect. *Journal of Physics: Conference Series*, 2697(1), Article 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2697/1/012044>
7. Alieva, L., & Zhukov, I. A. (2024). Upgrading rotary-percussion drilling of high-strength rocks by improving the structure of a rock-crushing blade-free tool. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 16(4), 1681–1694. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-4-1681-1694>
8. Song, D., et al. (2024). Experimental study on new structure teeth in a high-temperature environment. *Science Progress*, 107(1). <https://doi.org/10.1177/00368504231215973>
9. Alqunais, D., Teasdale, P., Case, M., & Hababi, A. (2024). Revolutionizing drilling efficiency in highly interbedded formations using a sustainable approach through a cutting-edge PDC bit design. *Society of Petroleum Engineers - ADIPEC 2024*. <https://doi.org/10.2118/221842-MS>
10. Koczkođaj, S., et al. (2023). Comparison of the performance properties of commercially produced roller cone bit coatings. *Materials Science - Poland*, 41(1), 110–123. <https://doi.org/10.2478/msp-2023-0008>
11. Slipchuk, A., et al. (2021). The influence of technological factors on the reliability connection for tungsten carbide insert cutter with cone in the roller cone bits. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 443–452. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_44

12. Slipchuk, A., & Jakym, R. (2021). Technological parameters of hole shaping in the cones rolling-cutter row of roller cone bits. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 123–132. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_13
13. Song, D., et al. (2024). Experimental study on new structure teeth in a high-temperature environment. *Science Progress*, 107(1). <https://doi.org/10.1177/00368504231215973>
14. Shuliar, I. O., Kustov, V. V., Borushchak, L. O., & Virstiuk, A. B. (2021). Doslidzhennia tekhnolohii parametriv vyhotovlennia armovanykh zubkiv sharoshok burovykh dolit [Study of technology parameters for manufacturing reinforced teeth of roller bit cones]. *Naukovyi visnyk IFNTUNG*, (2(51)), 23–31. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-2\(51\)-23-31](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-2(51)-23-31) [in Ukrainian]
15. Shuliar, I. O., & Bohachenko, O. M. (2010). Tekhnolohichni protses armuvannia ozbroiennia burovykh dolit [Technological process of reinforcing the cutting structure of drill bits]. In *Intelektualnyi produkt vchenykh, vynakhidnykiv i ratsionalizatoriv Prykarpattia* (pp. 14–15). [in Ukrainian]
16. Bozhenko, L. I. (2003). *Standartyzatsiia, metrolohiia ta kvalimetriia u mashynobuduvanni: navch. posibnyk* [Standardization, metrology and qualimetry in mechanical engineering: Tutorial]. Svit. https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2021/Bozhenko_2003_328.pdf [in Ukrainian]
17. Shuliar, I. O., Borushchak, L. O., & Borushchak, S. L. (2012). *Mashyna dlia vidtsentrovoho lytva i armuvannia vylyvkiv* [Machine for centrifugal casting and reinforcement of castings] (Patent No. 72194 Ukraine). State Patent Office of Ukraine. [in Ukrainian]
18. Kohut, M. S. (2014). *Vzaiemozaminnist, standartyzatsiia i tekhnichni vymiriuvannia: pidruchnyk* [Interchangeability, standardization and technical measurements: Textbook]. Svit. <https://vpu36balin.km.ua/wp-content/uploads/2025/05/V82-2014.pdf> [in Ukrainian]
19. Yeremenko, V. S., Kuts, Yu. V., Mokiichuk, V. M., & Samilichenko, O. V. (2013). *Statystychnyi analiz danykh vymiriuvan: navch. posib.* [Statistical analysis of measurement data: Tutorial]. NAU. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/1e99dc7d-33a1-48a3-8cbf-9f5747564b2b/content> [in Ukrainian]

APPLICATION OF INTERCHANGEABILITY, STANDARDIZATION, AND TECHNICAL MEASUREMENT METHODS FOR ASSESSING THE MANUFACTURING ACCURACY OF DRILL BIT TEETH

Schuliar I. O.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0820-1117>
e-mail: ira.shuliar.@gmail.com

Kustov V. V.

Candidate of Technical Sciences
Ivano-Frankivsk Vocational College of Lviv National University of Environmental Management
11, Yunosti Str., Ivano-Frankivsk, 76494, Ukraine
e-mail: v.v.kustov@ukr.net

Pituley L. D.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2320-4500>
e-mail: lolita.pitulei@nung.edu.ua

Shulyar B. R.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0002-5990-8753>
e-mail: bogdan.shuliar@gmail.com

Vyhovanets V. Ya.

Candidate of Agricultural Sciences
Ivano-Frankivsk Vocational College of Lviv National University of Environmental Management
11, Yunosti Str., Ivano-Frankivsk, 76494, Ukraine
e-mail: viktor8468@ukr.net

Burgart D. I.

Master's student
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
e-mail: dianaburgart8@gmail.com

Abstract. This work examines the application of statistical process control methods to improve the manufacturing quality of drill bit cone teeth produced by centrifugal reinforcement. A methodology was developed for assessing the accuracy of the teeth blanks' geometric dimensions through the statistical processing of measurement results. Based on the obtained data, the quality grade (tolerance grade) was determined. To investigate the dimensional variation arising during the teeth casting process, the following statistical characteristics were used: for small sample sizes – the arithmetic mean ($\bar{x}$), variance (S^2) or standard deviation (S), and the range (R). For large production batches, the concepts of mathematical expectation $M(x)$ and the distribution curve were also employed. The study constructed a distribution graph of random variables in the form of a histogram and a polygon (empirical distribution curve). Based on the graph's shape, a hypothesis was put forward regarding the conformity of the distribution curve to the normal (Gaussian) law. The results of a large sample study established the limits within which, with a specified probability, the random diameters of the teeth shanks produced by the given technological process would be found. The practical spread of a random variable (size) was taken as the field equal to $6S$. The size of this field was equated to the manufacturing tolerance T_d : $T_d = 6S$. In this case, the probability of the random size exceeding these limits is 0.27%. The level of accuracy (tolerance grade) in this work was determined for the nominal shank diameter $d = 8$ mm and the tolerance value $T_d = 0.168$ mm, using reference tables from DSTU ISO 286-2.

Keywords: product quality; centrifugally reinforced tooth; statistical processing of measurement results; statistical characteristics; histogram; distribution curve; accuracy level.