

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

На правах рукопису

ЯКИМ ІГОР СТЕПАНОВИЧ

УДК 621.951.3

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ
ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ**

05.02.08 – Технологія машинобудування

Дисертація

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор

Петрина Юрій Дмитрович

Івано-Франківськ, 2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ РІВЕНЬ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ, ТЕНДЕНЦІЇ Й ПЕРСПЕКТИВИ У ДОСЯГНЕННІ ВИСОКОЇ ЇХНЬОЇ ЯКОСТІ.....	10
1.1 Зв'язок між якісними та експлуатаційними показниками тришарошкових бурових доліт.....	10
1.2 Конструкторсько-технологічні вимоги до деталей тришарошкових бурових доліт.....	16
1.2.1 Конструкторсько-технологічні вимоги до деталей опор тришарошкових бурових доліт.....	16
1.2.2 Технологічне забезпечення контактної витривалості бігових доріжок опор тришарошкових бурових доліт.....	23
1.2.3 Конструкторсько-технологічні вимоги до породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт.....	24
1.2.4 Аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень.....	29
1.3 Сучасний рівень технології виготовлення тришарошкових бурових доліт.....	34
1.4 Аналіз виробничого браку та дефектів деталей при виготовленні тришарошкових бурових доліт.....	41
1.5 Процесний підхід до формування якості тришарошкових бурових доліт на етапах їхнього життєвого циклу.....	45
1.6 Висновки та задачі досліджень.....	48
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРИ ШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ.....	50
2.1 Теоретичні основи формування якості тришарошкових бурових доліт на основних етапах їх формування	50
2.2 Теоретичні основи вибору технологічних операцій для побудови раціональних маршрутів виготовлення тришарошкових бурових доліт....	55
2.3 Методи побудови технологічного процесу виготовлення тришарошкових бурових доліт	58
2.4 Технологічне забезпечення якості механічного оброблення цапф лап тришарошкових бурових доліт з герметизованою опорою ковзання.....	63
2.5 Технологічне забезпечення якості механічного оброблення радіальних	

опорних поверхонь шарошок тришарошкових бурових доліт	68
2.6 Дослідження конструктивних параметрів інструментів для свердління отворів в шарощі.....	75
2.7 Дослідження розбиття отворів в процесі їх свердління.....	78
2.8 Висновки	91
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТРИ ШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ.....	93
3.1 Програма та методика експериментальних випробувань і досліджень...	93
3.2 Обладнання та методика виготовлення кованок під деталі тришарошкових бурових доліт	94
3.3 Методика лабораторних експериментальних досліджень термічної обробки деталей бурових доліт та зразків	97
3.4 Обладнання та методика дослідження контактного руйнування бігових доріжок опор доліт та механічного оброблення цапф лап	101
3.5 Устаткування та загальна методика балансування патронів токарних оброблювальних центрів	102
3.6 Методика експериментальних досліджень з визначення поверхневої пластичної деформації бігових доріжок, механічного оброблення порожнин та формоутворення отворів у тришарошкових бурових долотах	107
3.7 Методика симплексної оптимізації параметрів різання для налагодження операцій „свердління отворів в упорному торці підшипника ковзання шарошки”.....	109
3.8 Висновки	111
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ....	113
4.1 Якісні конструкторські показники параметрів технологічного процесу порожнин шарошок бурових доліт	113
4.2 Вплив фізико-механічних та технологічних показників долотних сталей на якісні конструкторські показники порожнин шарошок бурових доліт, що формуються при токарних обробках	120
4.3 Вплив прогартовування долотної сталі й концентрації вуглецю в серцевині шарошки на схильність до утворення конусності поверхонь бігових доріжках шарошок бурових доліт	124
4.4 Вплив параметрів технологічного процесу на якісні конструкторські	

показники цапф лап бурових доліт	129
4.5 Вплив поверхневого пластичного деформування на якісні показники бігових доріжок опор кочення тришарошкових бурових доліт	134
4.6 Вдосконалення технології формоутворення отворів під вставне твердосплавне породоруйнівне оснащення у шарошках бурових доліт	136
4.7 Висновки	145
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ТА АПРОБАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ НА УСІХ ЕТАПАХ ЇХНЬОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ.....	148
5.1 Принципи забезпечення якості тришарошкових бурових доліт	148
5.2 Принципи розв'язання проблеми економії долотних сталей при виготовленні заготовок деталей бурових доліт	151
5.3 Принципи створення єдиної інформаційної системи реалізації процесів проектування, конструювання, підготовки виробництва і виготовлення деталей тришарошкових бурових доліт	153
5.4 Розробка і освоєння вітчизняним долотним виробництвом технології виготовлення вітчизняних конструкцій доліт продуктової лінії FS	163
5.5 Висновки до розділу.....	171
ВИСНОВКИ.....	173
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	176
ДОДАТКИ.....	191

ВСТУП

Актуальність теми. Відповідно до державної політики України у сфері розвитку внутрішнього виробництва, необхідне зростання ефективності використання діючих виробничих потужностей та підвищення їхнього технологічного рівня. Вагоме та стратегічне місце у реалізації даної політики посідає виконання завдання зі збільшення обсягів виробництва конкурентоспроможної наукоємної продукції для нафтогазової галузі. До такої продукції належать тришарашкові бурові долота, складність виготовлення яких обумовлює особливі вимоги до організації їхнього виготовлення на спеціалізованих підприємствах. Перед долотним виробництвом гостро стоїть проблема сталого підвищення якості тришарашкових бурових доліт на етапах їхнього життєвого циклу. Особливим і **актуальним** завданням дослідження такої проблеми є встановлення конструкторсько-технологічних та організаційних шляхів і методів підвищення якості тришарашкових бурових доліт.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, що складають основи дисертаційної роботи, виконані відповідно до наукової тематики кафедри технології нафтогазового машинобудування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу і базується на результатах держбюджетних тем: «Науково-прикладні основи розробки технологічного забезпечення виробництва та надійності нафтогазового і металорізального обладнання» (2010–2015р.р.) і «Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» на 2011-2015 р.р. (номер державної реєстрації 0111U005890).

Мета і завдання дослідження *Мета роботи* – розробити та дослідити технологічні методи підвищення якості виготовлення тришарашкових бурових доліт, шляхом вдосконалення комплексної системи формування якості бурових доліт на усіх етапах їхнього життєвого циклу.

Для досягнення мети були поставлені наступні **задачі**:

1. Проаналізувати рівень техніки і технології виготовлення тришарошкових бурових доліт та встановити взаємозв'язок між якісними та експлуатаційними показниками доліт й параметрами технологічних процесів.
2. Розкрити взаємозв'язок між фізико-механічними показниками долотних сталей, параметрами механічного оброблення та якісними конструкторськими показниками термооброблених шарошок і лап доліт.
3. Встановити раціональні параметри термічних та технологічних процесів зміцнення шарошок і лап бурових доліт.
4. Встановити шляхи забезпечення якості відповідальних елементів деталей тришарошкових бурових доліт на основних етапах технологічного процесу їхнього виготовлення.
5. Розробити інженерну методику та комплексну систему формування якості тришарошкових бурових доліт на усіх етапах їхнього життєвого циклу.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення тришарошкових бурових доліт та параметри, на яких формуються їхні якісні показники.

Предмет дослідження – взаємозв'язок фізико-механічних і конструктивних параметрів деталей тришарошкових бурових доліт та способів підвищення їх якості.

Методи дослідження. В основу досліджень покладені фундаментальні засади технології машинобудування і механіки, математичне і комп'ютерне моделювання, сучасні стандартні методики дослідження фізико-механічних показників долотних сталей та конструкторських показників деталей доліт. Теоретичне дослідження проведено з використанням фундаментальних засад теоретичної механіки, інформатики, морфологічного аналізу інженерної творчості й вибору раціональних технічних рішень. Апробація розроблених алгоритмів, методик проводилася методом комп'ютерного моделювання. Результати експериментальних досліджень одержано за допомогою спеціального технологічного оснащення з використанням сучасних засобів та методів вимірювання. Також застосовано сучасні методи для встановлення контактної довговічності опор доліт та експлуатаційних, якісних показників бурових доліт.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в подальшому розвитку науково-прикладних основ вдосконалення процесів комплексного вирішення проектних та конструкторсько-технологічних задач для якісного виготовлення тришарошкових бурових доліт. При цьому вперше:

- встановлено вплив фізико-механічних та технологічних показників долотних сталей на їхню схильність до виникнення деформацій й викривлень механічно оброблених та хіміко-термічно зміцнених деталей доліт, що дає можливість принципово по новому призначати раціональні припуски на механічне оброблення з мінімальною кількістю проходів інструмента;

- досліджено точність та сталість в часі механічного токарного оброблення в кінцевий розмір опор ковзання цапф лап герметизованих тришарошкових бурових доліт у єдиному процесі автоматизованого точіння. Розроблено технологію та визначено оптимальні параметри технологічних операцій свердління отворів в упорному торці шарошки на оброблювальному центрі MCV;

- встановлено раціональні параметри процесу свердління отворів у цементованих шарошках доліт під вставне породоруйнівне оснащення, що відрізняється регламентованими вимогами щодо розподілу значень твердості по перерізу вінця шарошки (від поверхні у серцевину) на глибину отворів під вставні зубки;

- встановлено динамічні характеристики процесу свердління з визначенням коливань свердла, які впливають на величину розбиття отвору при нерівномірних навантаженнях на різальні кромки із поєднанням розділення змінних методом Фур'є та чисельного методу Рунге-Кутта для розв'язку диференціального рівняння.

Практичне значення одержаних результатів:

Створені нові шляхи підвищення якісних показників цементованих шарошок та цапф лап тришарошкових бурових доліт апробовані в умовах реального виробництва, вдосконалено технологічні процеси виготовлення доліт і прийняті на ТОВ „УніБурТех” до подальшого підвищення якості й конкурентоздатності продукції.

Розроблені технології автоматизованого механічного оброблення елементів опор цапф лап та шарошок бурових доліт, а також технологію виготовлення шарошок і параметри формоутворення отворів у шарошках під вставне твердо-сплавне оснащення впроваджені на ТОВ „УніБурТех”.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено і апробовано в умовах долотного виробництва на ТОВ „УніБурТех”, і в подальшому впроваджено, єдину інформаційну систему підтримки процесів проектування, підготовки виробництва і виготовлення тришарошкових бурових доліт.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені у навчальний процес під час вивчення дисципліни „Технологія машинобудування”, „Основи наукових досліджень”, а також для виконання курсових та інших кваліфікаційних студентських робіт в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати роботи отримані автором самостійно [1, 2]. У працях, що написані у співавторстві, авторові належать: обґрунтування нових підходів до вдосконалення та розробки технологічних процесів автоматизованого виготовлення деталей бурових доліт та оцінка точності механічного оброблення цапф лап і опорних порожнин шарошок [3-6], дані експериментальних досліджень та їхнє математичне опрацювання [7-18], структури єдиної інформаційної системи підтримки процесів проектування, підготовки виробництва і виготовлення тришарошкових бурових доліт, а також системи комплексного підвищення якості доліт на довиробничому та виробничому етапах їх життєвого циклу, а також ідея вдосконалення інженерної методики побудови оптимального технологічного маршруту виготовлення доліт, ідея застосування інформаційних інтегрованих систем та CALS-технологій і процесності для освоєння виробництвом нових технологічних процесів виготовлення доліт [19, 20], ідея підвищення технологічності отворів під вставне породоруйнівне оснащення та дані аналізу руйнування вінців шарошок оснащених вставними зубками [21], встановлений характер впливу розподілу твердості в тілі вінців шарошок доліт 244,5 ОК-ПГВ-D26 на величину розбивки отворів під

вставні твердосплавні зубки [22], розроблений новий підхід, що дозволяє проектувати ефективні технологічні процеси на основі модернізації та вдосконалення базових техпроцесів (прототипів) [3, 23 - 27].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати досліджень доповідались на: міжнародних науково-практичних і науково-технічних конференціях «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», (м. Тернопіль, 2010 р.), «Машиностроение и техносфера XXI века», (м. Севастополь, 2011 р.), «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій», (м. Львів, 2012 р.), «Нові матеріали і технології в машинобудуванні», (м. Київ, 2013, 2015р.), International Scientific & Technical Conference Laser technologies «Lasers and their application» (Truskavets, Ukraine, 2013 Year), всеукраїнській науково-технічній конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні», (м. Львів, 2012 р.). У повному обсязі робота доповідалась і отримала позитивний відгук на розширених наукових семінарах кафедр технології нафтогазового машинобудування і комп'ютеризованого машинобудівного виробництва Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та технології машинобудування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (2015р.)

Публікації. Результати наукових досліджень викладено у 31 друкованій праці, з яких одна монографія, 15 статей у фахових виданнях, дві з яких входять до міжнародних наукометричних баз даних, 3 патенти України на винаходи, 1 патент України на корисну модель, 11 тез у збірниках матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій та симпозіумів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел із 109 найменувань та 17 додатків. Повний обсяг роботи становить 176 сторінок основного тексту, включаючи 61 рисунок, 34 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ РІВЕНЬ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ, ТЕНДЕНЦІЇ Й ПЕРСПЕКТИВИ У ДОСЯГНЕННІ ВИСОКОЇ ЇХНЬОЇ ЯКОСТІ

1.1 Зв'язок між якісними та експлуатаційними показниками тришарошкових бурових доліт

Тришарошкові бурові долота призначені для руйнування гірських порід і формування ствола свердловини. Основні техніко-економічні показники буріння свердловин в основному залежать від якісних показників доліт, їхньої досконалості конструкції, працездатності.

Тришарошкові бурові долота, маючи діаметр 46-508мм, працюють при осьових навантаженнях 2-40кН, при частоті обертання від 0,7 до 20с⁻¹ в середовищі яке містить абразив, при значному прикладенні навантаження. Висока енергоємність руйнування гірських порід вимагає підведення до долота значної потужності (до 50кВт). Оскільки в роботі опори кочення шарошкового долота одночасно бере участь не більше 25% всіх тіл кочення, то контактні напруження в таких опорах досягають 4000-5000МПа, а в опорах ковзання – 30-40МПа [31].

Температура середовища на вибої в деяких районах сягає 200°C і вище. На контакті „зуб шарошки – гірська порода” і в опорах виникають температурні спалахи до 1000°C і вище. Експериментальні дані, отримані за допомогою термоіндикаторів, показали, що температура нагріву роликів досягає 310-400°C [32, 33]. Це може спричинити в долотних сталях температурні напруження, які будуть сприяти зародженню піттингів, первинних тріщин і втомних викришувань.

У герметизованих опорах тришарошкових бурових доліт елементи підшипників досить ефективно змащуються і захищені від дії агресивного середовища вибою поки система герметизації є працездатна. Елементи підшипників у конструкціях доліт з відкритою опорою працюють в умовах значних контактних навантажень за дії корозивних середовищ, лужність яких може змінюватися у

межах рН 6 – 14, а також у присутності абразиву від 2% до 40% по об'єму. Це істотно пришвидшує контактне руйнування елементів опор кочення, що веде до передчасної відмови долота на вибої.

Загалом, важкі умови роботи тришаршкових бурових доліт суттєво знижують їхній наробіток. Термін служби долота – від 20 – 300год за низькообертowego буріння і до 15 – 20год. – при високооборотному. У окремих випадках фіксується зменшення наробітку долота до 10 – 5год.

Незалежно від конструкції і типорозміру тришаршкових бурових доліт до них висувають підвищені вимоги: висока надійність, продуктивність, здатність реалізовувати потужність і крутний момент, що підводяться до вибою, відповідно до фізико-механічних властивостей порід що бурять і міцності бурової коло-ни. Відповідність таким вимогам до бурових доліт вимагає високої якості їхнього виготовлення. Технічні вимоги до виготовлення долота, правила визначення їхньої якості, методи контролю і їхні випробовування є стандартизовані. Найбільш високі вимоги висуваються до робочих поверхонь долота: породоруйнів-ного і захисного оснащення шарошок, підшипникових та гідромоніторних вузлів, приєднуваної різі, системи герметизації і мащення опори. Рівень точності вико-нання розмірів, форми та взаємного розташування цих поверхонь згідно конс-трукторсько-технологічної документації визначають якість виготовлення долота.

У комплекс параметрів якісної оцінки долота входять характеристики про-цесів модифікації показників заготовок та вихідні параметри якості відповідно діючим стандартам і технічним умовам [34, 35] та параметрів, узгоджених зі спо-живачем. Відтак узгоджені показники якості між двома сторонами зводяться в один показник – критерій якості [36], який повинен бути об'єктивним та піддава-тися вимірюванню. Введення такого показника дозволяє ранжувати різні долота за ступенем їх якості в рамках заданої множини показників. Зауважимо, низка якісних показників, як елементів так і долота в цілому, змінюється у процесі екс-плуатації споживачем, тому таку якість необхідно розглядати як основу для по-чаткових умов, для встановлення нових критеріїв якості. Крім того, для виробни-ка не цілком визначеними є задачі й умови відпрацювання доліт. Тому інформа-

ція про сукупність експлуатаційних якостей повинна поступати від споживача виробнику у вигляді технічних вимог до доліт. Тим не менше, конкретизація цілей виробництва деталей ускладнюється тим, що навіть долота однієї партії можуть експлуатуватися в різних умовах, відповідно формувати різні вимоги до показників якості. За таких умов, для забезпечення споживача долотами заданої якості, спадкові властивості доліт на кожному з етапів виробництва і експлуатації повинні бути узгоджені. Одночасно, для забезпечення якісних вимог і конкурентоспроможних техніко-економічних показників, що висувуються до шарошкових доліт, необхідний жорсткий контроль якості на всіх стадіях процесу їх створення, при цьому керуються комплексом вимог до системи управління якістю процесів [38]. Однак сьогодні гостро відчувається брак системного підходу до забезпечення якості доліт, що не дозволяє об'єктивно і системно вдосконалювати технологію їхнього виготовлення. Для цього важливо знати основні причини відмов доліт та можливості зниження таких відмов на етапах підготовки виробництва та виготовлення доліт.

Аналізу причин відмов та руйнування тришарошкових доліт приділена значна увага в роботах [31, 38]. Показано, що на втрату працездатності елементів доліт суттєво впливають умови їх експлуатації. Тим не менше, за останні роки експериментально доведено значимість вивчення впливу на довговічність таких доліт низки чинників: фізико-механічних властивостей матеріалів деталей, конструкторських параметрів, технології виготовлення тощо [3, 32, 39 – 41].

Для аналізу характерних пошкоджень тришарошкових бурових доліт піддано долота 244,4 ОК-ПГВ. Ці долота виконуються з опорами на радіальних підшипниках кочення (великий роликовий підшипник кочення – замковий кульковий підшипник кочення – малий роликовий підшипник кочення) та осьових підшипниках ковзання („упорний торець цапфи лапи – упорний торець шарошки” і „п'ята – підп'ятник”). Такі долота призначені для руйнування особливо міцних порід, у зв'язку з чим їхні шарошки оснащуються вставними твердосплавними породоруйнівними вставками. Процес роботи такого долота ґрунтується на підведенні до нього осьового навантаження і моменту, у результаті чого долото

обертається навколо своєї осі і за рахунок проникання породоруйнівного оснащення шарошок в породу здійснюється руйнування породи і формування рельєфу вибою. Зниження плавності обертання шарошки з випадками підклинювання в опорі веде до проковзування шарошки по вибою. Відтак порушується процес якісного руйнування породи і породоруйнівне оснащення інтенсивно руйнується. Заклинювання однієї чи більше опор веде до зупинки шарошки і припинення процесу формування свердловини. У цьому випадку виникає аварійна ситуація, наслідками якої є руйнування шарошок (рис 1.1), поява металу на вибої, можливі також втрати долотом однієї чи двох і навіть трьох шарошок (рис 1.2 *а, б*), зафіксовані випадки зламу секцій (рис 1.2 *в*).

*а**б**в**г*

а – утворення тріщини в ділянках найбільш навантажених вінців шарошок по їх діаметру;

б – утворення тріщини в ділянках небезпечних перерізів між вінцями та відколювання вершин (кернування долота);

в – утворення системи тріщин вздовж осі шарошки;

г – розколювання шарошки з втратою на вибою елементів опори та частин шарошки й твердосплавних вставок

Рисунок 1.1 – Типові руйнування шарошки

Пошкодження доліт з утворенням фрагментів спричинює утворення металу на вибої. Це не тільки суттєво знижує процес формування свердловини, оскільки через нього породоруйнівне оснащення отримує значні руйнування, а також

можливе заклинювання шарошок. Все це потребує додаткових затрат на усунення аварійних ситуацій, відновлення процесу формування свердловини.

*a**б**в*

a – втрата однієї шарошки;

б – втрата всіх шарошок;

в – втрата однієї секції

Рисунок 1.2 – Втрата на вибої буровим долотом шарошок і секцій

Аналізом досліджуваних доліт, що відпрацювали в породах міцністю 16-20 одиниць за шкалою М.М.Протодьяконова виявлено пошкодження (табл. 1.1), що спричинили втрату працездатності доліт. Зауважимо, що зазначені тут причини виходу долота з ладу можуть фіксуватися на одному долоті як окремо, так і в поєднанні. Наприклад, знос елементів опори завжди поєднується із зростанням люфтів у опорі, як осьових так і радіальних. До цього може додаватися розвертання роликів в підшипниках опори, заклинювання опори та руйнування породоруйнівного оснащення чи інші пошкодження.

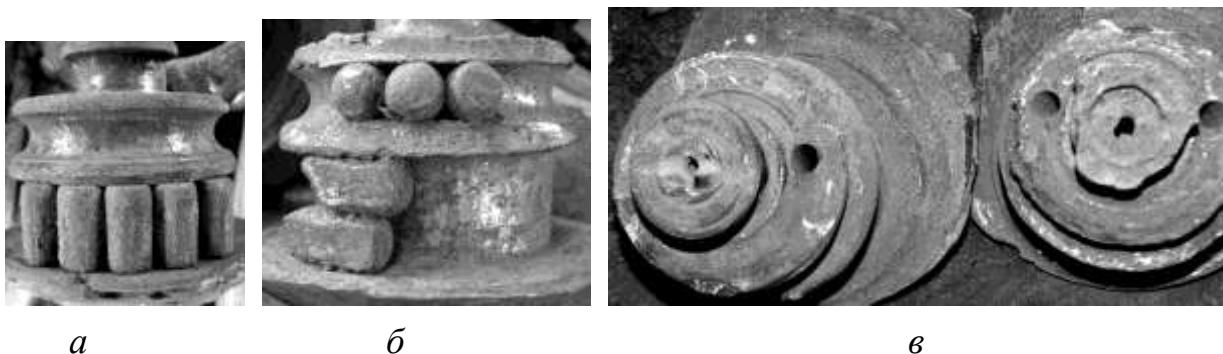
Знос чи руйнування козирка спинки лапи веде до заклинювання шарошок з втратами фрагментів опори, які залишаються на вибої.

Знос елементів опори, розколювання шарошки, руйнування породоруйнівного оснащення, знос чи руйнування козирка спинки лапи можна вважати базовими подіями у множинах послідовностей якими можна описати причини відмови долота.

Таблиця 1.1 – Найбільш типові причини втрати працездатності доліт

№	Причини виходу долота з ладу	Відносна доля, %
1	Розколювання шарошки	20
2	Знос елементів опори	60
3	Руйнування породоруйнівного оснащення	20
4	Розвертання роликів в підшипниках опори	75
5	Повне заклинювання шарошок	30
6	Заклинювання шарошок з втратами фрагментів опори	10
7	Знос чи руйнування козирка спинки лапи	65
8	Осьові люфти більше 1,5 мм	100
9	Радіальні люфти більше 2,5мм	70
10	Радіальні люфти до 2,5 мм	30

Зауважимо, що серед причин виходу долота з ладу (табл. 1.1) є такі, що можуть виявлятися раптово, або у перші години роботи долота на вибої. До таких причин належать: розколювання шарошки (рис. 1.2), руйнування породоруйнівного оснащення, повне заклинювання шарошок (рис. 1.3). Всі вони ведуть до аварійних ситуацій і прямих збитків при формуванні свердловини. Раніше було встановлено [41, 42], що однією з вагомих причин подібних руйнувань є якісні показники матеріалів доліт.



- а* – затиснення тіл кочення між деформованими буртами опори;
б – перекошування, розвертання і руйнування роликів, затискання і руйнування кульок замкового підшипника, руйнування буртів;
в – руйнування наплавлених упорних торців цапф лап і твердосплавних п'ят осьових підшипників ковзання

Рисунок 1.3 – Типові руйнування елементів опори при її заклинюванні

Аналізом уражень елементів опор відпрацьованих бурових доліт встановлено, що найбільші руйнування зазнають цапфи лап. Особливо значні пошкодження фіксуються на бігових доріжках підшипників кочення у найбільш навантаженій нижній частині цапфи лапи (рис. 1.4) [16].

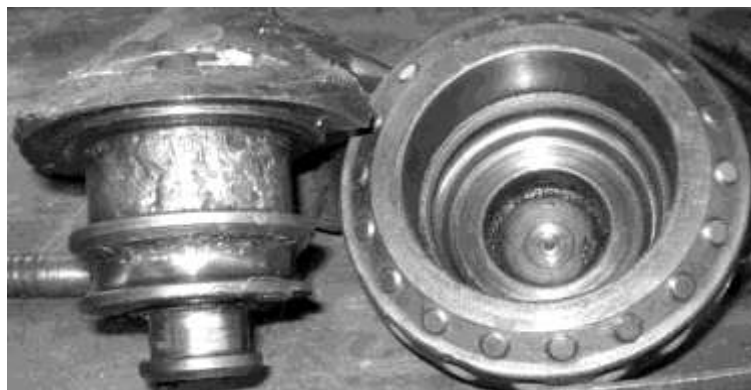


Рисунок 1.4 – Типове контактне руйнування цапф лап та загальний знос опорних елементів порожнини шарошок тришарошкових бурових доліт 244,5 ОК-ПГВ

Встановлено [41 – 45], що механізм руйнування елементів відкритих опор кочення тришарошкових бурових доліт у першу чергу залежить від якісних показників плавок долотних сталей, а також характеру розподілу концентрації вуглецю і твердості по глибині загартованих цементованих шарів. Також суттєвий вплив на контактну витривалість елементів опор здійснює досконалість технології виготовлення деталей доліт.

1.2 Конструкторсько-технологічні вимоги до деталей тришарошкових бурових доліт

1.2.1 Конструкторсько-технологічні вимоги до деталей опор тришарошкових бурових доліт

Для забезпечення відповідності якості вітчизняних доліт світовому рівню, усі їхні типорозміри мають встановлені жорсткі вимоги до параметрів зміцнених цементованих шарів. Зокрема, встановлені основні параметри [41]: глибини цементованого шару, розподілу концентрації вуглецю та твердості від поверхні у

серцевину деталей. Тим не менше, вітчизняне долотне виробництво не завжди може забезпечувати сталі експлуатаційні показники бурових доліт на рівні зі світовими. Це може пояснюватися тим, що для складних умов роботи опор таких доліт ще не достатньо вивчено вплив основних операцій технологічного процесу виготовлення на параметри якості загартованих цементованих шарів.

Вирішення окресленої проблеми ускладнюється тим, що для встановлення оптимальних параметрів зміцнених шарів елементів опор неможливо застосувати аналітичні розрахунки і у кожному конкретному випадку вичерпна оцінка здійснюється по результатах стендових випробувань, що максимально наближені до реальних умов експлуатації доліт. Також, за діючими типовими керівними документами за ефективну глибину цементованого шару приймають сумарну глибину заевтектоїдної, евтектоїдної і половину перехідної зони насичення вуглецем, що дозволяє об'єктивно оцінити якість гартування цементованих деталей. З іншої сторони, у зарубіжній практиці зміцнення цементованих деталей застосовується термін „ефективна глибина” цементованого шару. Така глибина визначається відстанню від поверхні цементованого шару до значення твердості HRC51,5 у загартованому шарі. Зважаючи на те, що між показниками розподілу твердості зміцненого цементованого шару і розподілом вуглецю та оцінкою якості гартування є кореляційний зв'язок, можна встановити оптимальні параметри цементованого шару для конкретних умов технологічного процесу виготовлення доліт.

Порівнюючи вплив різних видів технологічних обробок на деформацію деталей, встановлено [46 – 48], що найбільша деформація виникає після цементації. Хіміко-термічна обробка (ХТО) долотних сталей є доволі складним технологічним процесом, що вимагає враховувати цілий комплекс вимог для забезпечення якості деталей доліт [41]. Зазначимо, що практично всі автори вказують на дуже суттєвий вплив виготовлення заготовки, а саме виготовлення кованки. Якість ковки і температурний режим можуть спричинити негативний технологічний спадок який різко проявляється у деформації та викривленні деталей складного перерізу при їхній цементації. Зокрема, встановлено [49], що на кованках шарошок із сталі 14ХНЗМА зберігається смугастість в мікроструктурі. Така

структура дає розсіювання мікротвердості, що погіршує експлуатаційні показники деталей доліт.

Відомо, що попередній відпал (нагрів не вище 760°C , витримка 45-60хв) перед гартуванням цементованих деталей з хромонікелевих сталей дає на робочій поверхні зміцнений шар з дрібнодисперсними карбідами, які рівномірно розподілені по об'єму [50]. Також розроблені параметри ступінчатого режиму ізотермічного відпалу [47]: нагрів до $920-950^{\circ}\text{C}$, охолодження до 650°C , витримка 3-4 год і охолодження до кімнатної температури на повітрі. При малій товщині цементованого шару, наприклад до 1,3мм, така термообробка дає мінімальні значення деформації. Тим не менше, застосування існуючої технології, яка включає повторні нагриви після цементації веде до непрогнозованого виникнення деформацій та викривлень шарошки і цапфи лапи. Все це нівелює якісні конструкторські параметри отримані як на попередніх, так і на наступних (викінчувальних) операціях механічного оброблення.

Як відомо, є два види деформації деталей, що піддаються цементації. У першому випадку це відбувається внаслідок зміни питомого об'єму сталі при фазових перетвореннях. У другому – деформація деталей виникає через утворення напружень при неоднаковому і нерівномірному фазовому перетворенні різних зон об'єму деталі. Перший вид деформації є неминучий і його попередити неможливо, його можна хіба врахувати при призначенні допусків і припусків у проектуванні технологічних операцій. Другий вид деформації можна зменшити, знижуючи величину внутрішніх напружень і зменшення їх нерівномірність у об'ємі деталі при її термообробці [46 – 48, 51].

Відомо, що досить ефективним методом зниження деформацій при ХТО є застосування безпосереднього гартування з підстуджуванням замість гартування з подвійного нагріву. Ще більшого ефекту можна досягнути при ступеневому гартуванні в гарячій оливі ($150-200^{\circ}\text{C}$) та фіксації деталей в пресах, а також жорсткому контролю вуглецевого потенціалу [46]. Зауважимо, що більшість подібних рекомендацій добре себе зарекомендували при виготовленні деталей типу шестерень. Порівняно з ними лапи і шарошки доліт мають на порядок вищу

складність, містять ділянки що не підлягають цементації. Деталі доліт неможливо фіксувати, при їх складанні в цементаційні ящики, як це можливо здійснити для деталей типу шестерень. Тому в долотобудуванні намітився специфічний напрямок у вдосконаленні технології ХТО.

За існуючою заводською технологією, ХТО шарошок бурових доліт, температура підстуджування деталей після цементації складає $900 \pm 10^\circ\text{C}$ [41]. Зауважимо, що згідно даних [47] підстуджування до температури $820-840^\circ\text{C}$ не змінює параметр решітки аустеніту, тобто відсутнє виділення із аустеніту вуглецю у вигляді карбідів. Одночасно таке підстуджування значно знижує теплові напруження через зменшення градієнта температур при охолодженні. Також деформація і викривлення деталей доліт суттєво зростає у міру забрудненості та перевищення терміну придатності оливи в якій здійснюється охолодження термооброблених шарошок і лап доліт. Таким чином, на розглядуваній стадії ХТО є нереалізовані резерви зменшення деформації. З іншої сторони відчувається брак чітких даних про взаємозв'язок між фізико-механічними, технологічними показниками долотних сталей та параметрами технологічного процесу виготовлення деталей доліт. Зокрема, немає чітких вимог до параметрів прогартування долотних сталей.

За останні роки у підвищенні ефективності існуючих конструкцій цапф лап тришарошкових бурових доліт сформувалися основні підходи до пошуку оптимальних марок сталей та методів їхньої обробки й зміцнення. Основною метою таких підходів є підвищення міцності та твердості цементованого шару, а також міцності серцевини для того, щоб виключити можливість виникнення пластичної деформації під зміцненим шаром. Також важливо щоби зміцнена долотна сталь забезпечувала високу тріщиностійкість елементів цапфи лапи в умовах експлуатації долота на вибої. З іншої сторони, хімічний склад долотної сталі повинен відповідати вимогам економії цінних легуючих елементів та забезпечувати високі технологічні показники (оброблюваність лезовим інструментом, зварюваність та ін.). У зв'язку з цим, переважаюча кількість досліджень присвячена вивченню цементованих сталей хромонікелевого складу [32, 41, 52, 53]. Як результат, у долотобудуванні масово застосовують для виготовлення лап

секційних тришарошкових бурових доліт сталі: 20ХН3А, 14ХН3МА, 19ХГНМА, 20ХГНМА, 22ХГНМА. Зауважимо, що за існуючої технології цементації кількість вуглецю в поверхневих шарах таких сталей приблизно вирівнюється. Проте різний вміст легуючих елементів дає різні показники по прогартовуванню та відповідно специфічні особливості характеру зміни показників міцності та пластичності в поверхневих зміцнених шарах відносно серцевини. Зокрема, надлишок легуючих елементів, які у відомій мірі, є гетерогенними частинками в металевій матриці, спричинює різке зниження контактної витривалості елементів опор.

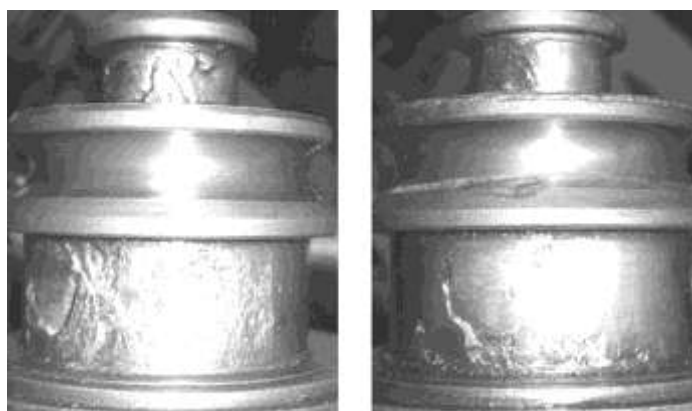
Встановлено [41, 54, 55], що сталь 20ХН3А, володіючи більшими значеннями показників міцності, має меншу в'язкість за статичних та динамічних навантаженнях проти сталі 14ХН3МА. Крім цього, сталь 20ХН3А не забезпечує стабільність прогартовування зі збільшенням розмірів перерізу. У свою чергу, практика застосування на долотних заводах сталі 14ХН3МА для виготовлення лап доліт виявила її непридатність для цього через підвищену схильність до деформації та викривлень під час термообробок. Тому, як вказано в [32] перспективним шляхом є пошук нових, комплексно легованих сталей для лап доліт, які б забезпечували низьку схильність до деформації та викривлень під час ХТО.

Світова практика виготовлення лап секційних тришарошкових доліт характеризується застосуванням особливо високоякісних комплексно легованих сталей зі зниженим вмістом нікелю [31, 52, 53, 56]. Відтак, за аналогом до кращих долотних сталей, що застосовують провідні виробники тришарошкових бурових доліт, як „Hughes Christensen Co.”, „Smith International Inc.”, „Reed Tool Co.”, „Security DBS Dresser Industries Inc.”, „Varel Manufacturing Co.”, у вітчизняному долотобудуванні застосовується сталь 19ХГНМА (аналог сталі AISI 8720H).

З досліджень [41, 55] та ін., в яких встановлено вплив хімічного складу, фізико-механічних показників на експлуатаційні показники деталей доліт зі сталей типу 19ХГНМА-В впливає необхідність покращення фізико-механічних властивостей сталі 19ХГНМА. У цьому напрямку вбачається перспективність збільшення вмісту вуглецю і молібдену. Відомо [57], що при концентрації молібдену до 0,5%, він не бере участі в карбідоутворенні і, залишаючись в твердому

розчині (аустеніті), значно підвищує прогартовування цементованого шару та міцність серцевини. Так, після термообробки сталі 21ХГНМА за режимом: 1-е гартування $890\pm 10^{\circ}\text{C}$ в оливі; 2-е гартування $840\pm 10^{\circ}\text{C}$ в оливі; відпуск $185\pm 15^{\circ}\text{C}$ в повітрі, вона набуває практично однакових зі сталлю 19ХГНМА-В фізико-механічних властивостей [41]. Також у цих сталях є типова мікроструктура. Однак сталь 21ХГНМА забезпечує вищу міцність серцевини, зокрема на цій сталі можна отримати твердість в серцевині цапф лап HRC34-40, у той час, як на сталі 19ХГНМА-В отримують HRC18-40.

Порівнюючи експлуатаційні показники долотної сталі з високим вмістом нікелю (сталь 20ХН3А-В) та комплексно легованої, з пониженим вмістом нікелю (сталь 19ХГНМА-В), то маємо практично однаковий характер руйнування елементів опор. Водночас сталь 20ХН3А-В дає вищі показники міцності і контактної витривалості проти сталі 19ХГНМА-В (рис. 1.5). Тим не менше сталь 19ХГНМА-В є значно дешевшою та більш технологічною у операціях термообробки метою яких є досягнення високих показників твердості.



а

б

а – цапфа лапи виготовлена зі сталі 19ХГНМА-В,

б – цапфа лапи виготовлена зі сталі 20ХН3А-В

Рисунок 1.5 – Загальний вигляд руйнувань елементів цапф лап тришарошкових бурових доліт типорозміру 250,8мм, які відпрацювали у стендових умовах 27год

Вивчення проблеми забезпечення якості цементованих деталей доліт показує, що в умовах масового виробництва неможливо добитися сталого рівня дов-

говічності елементів опор по критерію контактної витривалості та тріщино стійкості. Основною причиною цього є відсутність стабільності основних фізико-механічних показників плавки цих сталей у стані поставки на виробництво. Тому існує необхідність ще на стадії вхідного заводського контролю встановити придатність тієї чи іншої плавки сталі для виготовлення деталей долота.

Практика ХТО деталей доліт показує, що максимальна деформація цапфи лапи фіксується після цементації. Наприклад встановлено [32], що діаметр цапфи лапи зі сталі 20ХН3А-Ш після цементації може збільшитися на 0,12 мм, або зменшитися діаметр бігових доріжок на 0,08 мм. При цьому велика роликочна доріжка цапфи лапи може набути конусність до 0,2 мм.

У цапфах зі сталі 14ХН3МА-Ш окрім відмічених змін розмірів автори [32] спостерігали значні викривлення відносно осі цапфи. Такі особливості втрати точності конструкторських параметрів сформованих на технологічних операціях до цементації деталей ведуть до різкого зниження працездатності опори. З метою зменшення значень деформацій цапф лап, за аналогом до зарубіжного досвіду, були спроби застосувати сталі 20ХГНМА-Ш і 22ХГНМА-Ш. У дослідній партії цапф лап з таких сталей автори [32] отримали суттєве зменшення відхилень від конструкторських розмірів бігових доріжок (зміна діаметра бігових доріжок при термообробці не перевищувала 0,07 мм, а конусність – 0,025 мм). Тим не менше, сьогодні у долотобудуванні сталі електрошлакового переплаву практично не застосовують через їхню високу вартість, натомість поширені вакуумовані сталі 19ХГНМА-В та 21ХГНМА-В. Хімічний склад прокату таких сталей згідно існуючих технічних умов допускає широкі межі розсіювання значень концентрації легуючих елементів. Відтак різні плавки долотних сталей подекуди дають різко відмінні фізико-механічні, технологічні та експлуатаційні показники деталей доліт. Зауважимо, що окрім досліджень здійснених в [41, 55] практично відсутні конкретні рекомендації щодо застосування сталей 19ХГНМА-В, 21ХГНМА-В та подібним їм за хімічним складом для виготовлення лап бурових доліт. Що ж стосується схильності таких сталей до деформації після цементації, то такі оцінки, як правило здійснюються у заводських умовах ситуаційно – залежно від вияв-

лення браку. Однією з причин такого становища є те, що загалом долотні сталі типу 19ХГНМА-В дають менш відчутну деформацію та відхилення конструкторських розмірів цапф лап порівняно зі сталлю 14ХНЗМА-В, з якої виготовляють шарошки доліт. Тим не менше, на операціях механічного оброблення цапф лап час від часу фіксуються проблеми передчасної відмови та руйнування різального інструменту (твердосплавних пластин різців для токарного оброблення). Аналізом встановлено, що після термообробки лап з різних плавки сталі виникає необхідність коригування значень припусків на механічне оброблення. У окремих випадках необхідно збільшувати кількість проходів інструменту. Аналізом фізико-механічних показників у перерізах бігових доріжок цапф лап в яких було збільшено кількість проходів інструменту виявлено, що товщина цементованого шару є неоднакова. У одному місці фіксували значення товщини яке відповідає існуючим вимогам, у інших – цементований шар має недопустимо малу товщину. Тому маємо випадки виникнення бракованої продукції [14]. З іншої сторони, сучасний підхід до забезпечення якості бурових доліт на основних стадіях їхнього життєвого циклу вимагає встановлення чітких критеріїв для якісної підготовки виробництва та проектування технологічних процесів виготовлення. Без цього проблематично забезпечити якісні конструкторські показники деталей доліт на етапах підготовки технологічних операцій зміцнення.

Виходячи з вище викладеного, важливо розкрити взаємозв'язок між фізико-механічними та технологічними показниками долотних сталей, параметрами технологічного процесу виготовлення та якісними конструкторськими показниками порожнин шарошок а також цапф лап бурових доліт.

1.2.2 Технологічне забезпечення контактної витривалості бігових доріжок опор тришарошкових бурових доліт

Одним з основних якісних показників опор доліт є плавність обертання шарошок. Це досягається не тільки високою точністю механічного оброблення елементів опори [3], їхньої ХТО [41], а також якістю складальних операцій. Важли-

вим є також умови припрацювання доліт, правильність виведення їх на робочий режим навантаження при бурінні. Зауважено, що найкращі експлуатаційні показники доліт дають опори які зберігають якомога тривалий час мінімальні осьові та радіальні люфти, а також високу контактну витривалість бігових доріжок.

Серед ефективних і перспективних технологічних способів підвищення контактної витривалості деталей є поверхневе пластичне деформування (ППД) обкочування [58]. Проте, незважаючи на дослідження [59, 60] та ін., практичне застосування такого способу для оброблення бігових доріжок цапф лап сучасних доліт ще недостатньо вивчено. Як показано в [41] трудність технології обкочування бігових доріжок цапф лап полягає у відхиленнях їх вихідної твердості та структури поверхневих шарів. Також встановлено, що обкочування цементованих бігових доріжок після шліфування суттєво не підвищує їх контактну витривалість. Більшого ефекту вдалося досягнути при обкочуванні бігових доріжок до ХТО після точіння. У обох варіантах обкочування, поряд зі зменшенням діаметрів бігових доріжок цапф лап (сталь 19ХГНМА-В) у межах встановленого допуску (0,005-0,01 мм), не зафіксовано помітного збільшення поверхневої твердості, яка до і після зміцнення дорівнювала HRC60-61. Тим не менше, при застосуванні для виготовлення лап зі сталі 22ХГНМА-В необхідно вивчити можливості застосування ППД для якісних показників бігових доріжок опор кочення тришарошкових бурових доліт.

1.2.3 Конструкторсько-технологічні вимоги до породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт

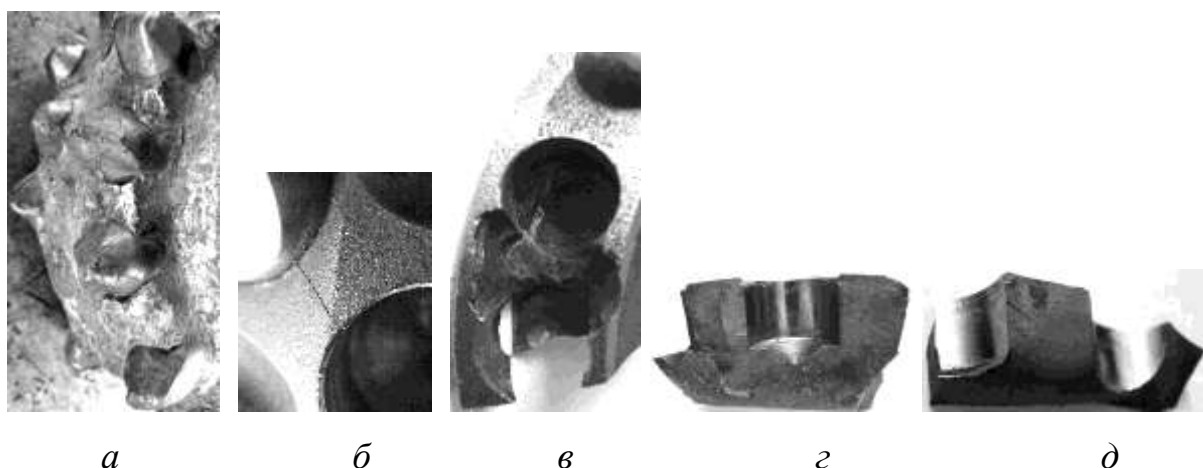
Ефективність буріння тришарошковими буровими долотами визначається не тільки якісними показниками елементів опор, а й породоруйнівного оснащення. Для буріння твердих, твердих абразивних, міцних та особливо міцних гірських порід шарошки таких доліт виконуються з вставним породоруйнівним оснащенням – твердосплавними зубками. Якісні показники вставного оснащення шарошок мають першочергове значення, не тільки з огляду на високі експлуата-

ційні вимоги до тришарошкових бурових доліт, а й на їх собівартість, зумовлену застосуванням цінних матеріалів. Це ставить комплекс вимог до матеріалів, конструкції, технології виготовлення породоруйнівного оснащення доліт. Зауважимо, що ці вимоги досить важко, а подекуди неможливо задовольнити одночасно.

За останні роки розроблено основні підходи до вдосконалення конструкції вставного породоруйнівного оснащення з метою підвищення ефективності буріння [42, 61 – 63]. Сьогодні також багато уваги приділяється вдосконаленню технології пресування твердосплавних зубків у шарошки [42, 63 – 66]. Аналіз цих, та багатьох інших робіт, а також вивчення практики виготовлення тришарошкових бурових доліт на долотних заводах показує, що проблему необхідно вирішувати комплексно. Тим не менше існує низка ще не вирішених взаємопов'язаних задач оптимізації фізико-механічних, конструкторсько-технологічних параметрів з'єднання „зубок-шарошка”, а також вдосконалення технологічних процесів формоутворення отворів під хвостовики твердосплавних зубків і складальних операцій. Залишаються дискусійними також питання конструктивної досконалості хвостовиків вставних зубків.

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.

Аналізом встановлено, що фізико-механічні показники матеріалів шарошок і вставних зубків, а також технологія виготовлення отворів, конструктивні параметри спряжених поверхонь визначають характер пошкоджень і руйнувань породоруйнівного оснащення. Зокрема, при недостатній міцності вінців шарошки відбувається оголення вставних зубків і їх випадання (рис. 1.6, *a*). У випадку високої крихкості шарошок спостерігається відколювання фрагментів вінців та зубків (рис. 1.6, *б-д*). Одночасно зауважено різний характер руйнування твердосплавних вставних зубків. Це пояснюється неоптимальним натягом у спряженні з'єднання „зубок-шарошка” [11, 65, 67, 68].



- a* – оголення зубків по вінцю шарошки,
б – тріщини між отворами під вставні зубки в тілі вінця шарошки,
в – відколювання фрагменту вінця між двома отворами під вставні зубки,
г, д – відколені фрагменти вінців шарошки

Рисунок 1.6 – Типові руйнування вінців шарошок оснащених вставними зубками

Особливо різко зменшується ефективність буріння при випаданні твердо-сплавних вставних зубків на вибій. Це веде до руйнування зубів породоруйнівного оснащення шарошок (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Характер руйнування вставного породоруйнівного оснащення тришарошкового долота, що працювало на вибій з наявним твердим сплавом

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.

Дослідженню шляхів удосконалення технології виготовлення шарошок із твердосплавним породоруйнівним оснащенням присвячено роботи [3, 42, 69 – 75] та ін. Аналіз результатів цих досліджень показує, що у вирішенні окресленої проблеми є декілька шляхів.

Найбільш поширеним є підхід, що ґрунтується на вдосконаленні процесу формоутворення отворів у шарошці [3, 69 – 72]. 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 досконалим способом є вдосконалення якості формоутворення отворів та формування селективних груп отворів та зубків [3, 42]. Тут, у зв'язку із загрозою виникнення незавершеного виробництва, існує проблема встановлення оптимальних параметрів селективних груп отворів у шарошці та твердосплавних зубків. Зокрема в [73] 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 [74]. Стосовно усунення незавершеного виробництва, то практично виправданим є розвірчування отворів під селективний зубок із застосуванням пошукової оправки [3].

Відомий також напрямок вдосконалення технології складання [3, 42, 75], який ґрунтується 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 [3, 42]. 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 [69]. 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 дна отвору на 27мкм порівняно із діаметром на вході.

Результати лабораторних досліджень здійснених на спеціально підготовлених плитах із долотної сталі 16ХНЗМА подані в [70] 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 [71], 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 цементациї.

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 цементациї. Шарошки піддають цементациї з наступним високим відпуском. Далі свердлять отвори під твердосплавний зубок і проводять їх калібрування та підбирають дно. Після цього шарошки гартують 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 вводять додаткове розвірчування отворів. Здійснивши пресування зубків, шарошку піддають низькому відпуску. Зважаючи на те, що параметри ХТО шарошок визначають їх експлуатаційні показники, важливим є встановлення оптимальних параметрів розподілів твердості по перерізі тіла шарошки. У свою чергу, ці параметри повинні задовольняти комплекс експлуатаційних вимог щодо контактної витривалості бігових доріжок підшипників кочення та тріщиностійкості корпусу шарошок, а також зносостійкості вінців та ін. З іншої сторони, параметри розподілів твердості по

перерізі тіла шарошки повинні створювати сприятливі умови для технологічних процесів механічного оброблення отворів під вставні твердосплавні зубки.

Отже необхідно встановити взаємозв'язки між показниками твердості тіла вінців шарошки й параметрами процесу формоутворення отворів та якістю готових отворів під вставні твердосплавні зубки. З цією метою слід 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.

1.2.4 Аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень

В роботі Жидовцева М. О., Кершенбаума В. Я., Торгашова А. В., Гінзбурга Э.С. [31,32], вивчено температурні напруження в долотних сталях, які можуть сприяти зародженню піттингів, первинних тріщин і втомних викришувань.

Експериментально доведено значимість вивчення впливу на довговічність доліт низки чинників: фізико-механічних властивостей матеріалів деталей, конструкторських параметрів, технології виготовлення тощо.

Проведено дослідження по вивченню цементованих сталей хромонікелевого складу з метою економії цінних легуючих елементів та забезпечення високих технологічних показників (оброблюваність лезовим інструментом, зварюваність та ін.).

Встановлено перспективність в пошуку нових, легованих сталей для лап доліт, які б забезпечували низьку схильність до деформації під час ХТО.

Досліджено деформацію цапфи лапи після цементації. Встановлено, що діаметр цапфи лапи зі сталі 20ХН3А-Ш після цементації може збільшитися на 0,12 мм, або зменшитися діаметр бігових доріжок на 0,08 мм. При цьому велика

роликова доріжка цапфи лапи може набути конусність до 0,2 мм. У цапфах зі сталі 14ХНЗМА-Ш окрім відмічених змін розмірів спостерігається значні викривлення відносно осі цапфи. З метою зменшення значень деформацій цапф лап, досліджувалися сталі 20ХГНМА-Ш і 22ХГНМА-Ш, які дали суттєве зменшення відхилень.

В роботі Кершенбаума В. Я. [32] здійснено аналіз причин відмов та руйнування тришарошкових доліт. Показано, що на втрату працездатності елементів доліт суттєво впливають умови їх експлуатації.

В працях Торгашова А. В. [31] приділено значну увагу аналізу причин відмов та руйнування тришарошкових доліт.

Робота Дрогомирецького Я.М. [33] присвячена вивченню причини зародженню піттингів, первинних тріщин і втомних викришувань в тришарошкових бурових доліт.

В своїй роботі Каінов Д.А. [36] вивів критерій якості доліт з вихідних параметрів якості відповідно діючим стандартам і технічним умовам та параметрів, узгоджених зі споживачем, який повинен бути об'єктивним та піддаватися вимірюванню.

В роботах Крижанівського Є.І. та Петрини Ю. Д. [43] встановлено, що механізм руйнування елементів відкритих опор кочення тришарошкових бурових доліт у першу чергу залежить від якісних показників плавок долотних сталей, а також характеру розподілу концентрації вуглецю і твердості по глибині загартованих цементованих шарів. Суттєвий вплив на контактну витривалість елементів опор здійснює досконалість технології виготовлення деталей доліт.

В працях Арендарчука А. В., Астафьева А. А., Башніна Ю. А. [46] приведено порівняння впливу різних видів технологічних обробок на деформацію деталей, встановлено, що найбільша деформація виникає після цементації деталей доліт.

Встановлено, що ефективним методом зниження деформацій деталей доліт при ХТО є застосування безпосереднього гартування з підстуджуванням замість гартування з подвійним нагрівом. Кращий ефект досягається при

ступеневому гартуванні в гарячій оливі (150-200°C), а також жорсткому контролю вуглецевого потенціалу.

В роботі Вдовіна А.А. і Пугачева Т.М. [49] встановлено, що якість поковки і температурний режим можуть спричинити негативний технологічний спадок який різко проявляється у деформації та викривленні деталей складного перерізу при їхній цементації. Зокрема, на кованках шарошок із сталі 14ХН3МА зберігається смугастість в мікроструктурі, що погіршує експлуатаційні показники деталей доліт.

В роботах Желіховської Є.Н., Заварова А.С., Грачева С.В. [50] встановлено, що попередній відпал (нагрів до 760°C, витримка 45-60хв) перед гартуванням цементованих деталей з хромонікелевих сталей дає на робочій поверхні зміцнений шар з дрібнодисперсними карбідами, які рівномірно розподілені по об'єму.

В роботі Сагарадзе В. С. [47] розроблено параметри ступінчатого режиму ізотермічного відпалу: нагрів до 920-950°C, охолодження до 650°C, витримка 3-4 год і охолодження до кімнатної температури на повітрі. При малій товщині цементованого шару, наприклад до 1,3мм, така термообробка дає мінімальні значення деформації.

Встановлено, що підстуджування шарошок бурових доліт до температури 820-840°C не змінює параметр решітки аустеніту, тобто відсутнє виділення із аустеніту вуглецю у вигляді карбідів. Одночасно таке підстуджування значно знижує теплові напруження через зменшення градієнта температур при охолодженні.

В роботах Козловського І.С., Кальнера В.Д., Арендарчука А.В., Астафьева А. А., Башніна Ю.А., Сагарадзе В.С. [48] встановлено, що деформацію деталей, яка виникає через утворення напружень при неоднаковому і нерівномірному фазовому перетворенні різних зон об'єму деталі можна зменшити, знижуючи величину внутрішніх напружень і зменшення їх нерівномірність у об'ємі деталі при її термообробці.

В роботах Петрини Ю.Д., Іщука А.Г. [54,55] встановлено, що сталь 20ХН3А, володіючи більшими значеннями показників міцності, має меншу

в'язкість при статичних та динамічних навантаженнях проти сталі 14ХНЗМА. Крім цього, сталь 20ХНЗА не забезпечує стабільність прогартовування зі збільшенням розмірів перерізу.

Встановлено, що вплив хімічного складу, фізико-механічних показників на експлуатаційні показники деталей доліт зі сталей типу 19ХГНМА-В впливає необхідність покращення фізико-механічних властивостей сталі 19ХГНМА. При цьому вбачається перспективність збільшення вмісту вуглецю і молібдену.

В роботах Барвінка В.А., Баталова С. П., Бікбулатова І. К., Торгашова А.В. [31,39] здійснено аналіз причин відмов та руйнування тришарошкових доліт.

Розроблено теоретичні підходи до організації автоматизованого виробництва бурових доліт, а також основи автоматизованого оброблення деталей доліт та високоефективного їх зміцнення.

Приділено увагу у вивченні світової практики виготовлення лап секційних тришарошкових доліт із застосуванням особливо високоякісних комплексно легованих сталей зі зниженим вмістом нікелю. За аналогом до кращих долотних сталей, що застосовують провідні виробники тришарошкових бурових доліт, як „HughesChristensenCo.”, „SmithInternationalInc.”, „ReedToolCo.”, „Security DBS DresserIndustriesInc.”, „VarelManufacturingCo.”, у вітчизняному долотобудуванні застосовується сталь 19ХГНМА (аналог сталі AISI 8720H).

В роботах Белинкого А.Л., Булгакова В.А., Горюшина В.В. [57] встановлено, що при концентрації молібдену до 0,5%, він не бере участі в карбідоутворенні і, залишаючись в твердому розчині (аустеніті), значно підвищує прогартовування цементованого шару та міцність серцевини деталей бурових доліт.

В роботі Петрини Ю. Д. [54] встановлено, що після термообробки сталі 21ХГНМА за режимом: 1-е гартування $890\pm 10^{\circ}\text{C}$ в оливі; 2-е гартування $840\pm 10^{\circ}\text{C}$ в оливі; відпуск $185\pm 15^{\circ}\text{C}$ в повітрі, вона набуває практично однакових зі сталлю 19ХГНМА-В фізико-механічних властивостей.

Досліджувалася технологія обкочування бігових доріжок цапф лап. Встановлено, що обкочування цементованих бігових доріжок після шліфування

суттєво не підвищує їх контактну витривалість. Більшого ефекту вдалося досягнути при обкочуванні бігових доріжок до ХТО після точіння.

В роботах Афтаназіва І.С., Гавриша А.П., Киричка П.О., Папшева Д.Д., Прошина А.М., Кубишкіна А.Б., Виноградова А.Н. [58,59] досліджували поверхневе пластичне деформування (ППД) обкочування бігових доріжок цапфи лапи, як ефективний і перспективний технологічний спосіб підвищення контактної витривалості.

В роботах Богомолова Р.М., Долгушина В.В., Крижанівського Є.І., Воєвідко І.В., Веселовського Г.С., Гука Р.Й. [61–63] розроблено основні підходи до вдосконалення конструкції вставного породоруйнівного оснащення з метою підвищення ефективності буріння.

В роботах Сізова Е.І., Кремлева В.І., Акудінова Д.В. [64 –66] приділено увагу у вдосконаленні технології пресування твердосплавних зубків у шарошки доліт.

Встановлено, що через неоптимальний натяг у спряженні з'єднання „зубок-шарошка” виникає різний характер руйнування твердосплавних вставних зубків.

В роботах Крилова К. А., Стрельцова О.А., Набатникова Ю.Ф., Сізова Е.І., Петрини Ю. Д., Петрини Д. Ю., Венгринюка Т.П., Пицківа Н.Я., Пасиновича Т.Б. [67-75] досліджувалися шляхи удосконалення технології виготовлення шарошок із твердосплавним породоруйнівним оснащенням.

Вивчено та вдосконалено процес формоутворення отворів у шарошці під твердосплавний зубок.

Здійснено напрямок у вдосконаленні технології складання, який ґрунтується на створенні різниці температур між зубком і тілом шарошки.

Запропоновано введення у технологічний процес операції додаткового напівчистового розвірчування отворів для забезпечення точності геометрії спряжених поверхонь з'єднання „зубок - шарошка” що має визначальне значення у надійності цього з'єднання. Однак недоліком цього є збільшення діаметру отвору в ділянці дна отвору порівняно із діаметром на вході через значний

перепад твердості в тілі шарошки, поверхня якої була цементована і загартована, а серцевина мала низьку твердість.

В роботі Набатникова Ю.Ф. [73] встановлено, що для вдосконалення якості формоутворення отворів та формування селективних груп отворів та зубків подано пропозицію формувати від 8 до 36 розмірних груп для зубків і отворів.

В роботах Петрини Ю.Д., Пасиновича Т.Б. [74] досліджено та встановлено, що створення селективних групоотворів та зубків не повинно перевищувати 10. Для посадки твердосплавних зубків діаметром 12,8 мм найбільш оптимальним є формування 9 селективних груп розмірів отворів та хвостовиків зубків.

Досліджено та вивчено характер впливу зміни твердості шарошки у ділянці формоутворення отворів та сформульовано основні вимоги до розподілу твердості в цементованих шарах шарошки.

Розроблено та впроваджено нові високоефективні підходи та технології у підвищенні якості механічного оброблення цапф лап.

Обґрунтовано виконання точного точіння в розмір цапфи лапи до ХТО для забезпечення точності розмірів роликкових бігових доріжок порядку 0,01 мм, щоб виключити потребу в шліфуванні.

В роботах Боруцака Б.О., Петрини Ю.Д., Боруцака Л.О., Ілика В.Т. [70] встановлено, що наявність цементованого шару долотної сталі 16ХНЗМА сприяє зменшенню конусності та розбивки отворів під хвостовики твердосплавних зубків.

1.3 Сучасний рівень технології виготовлення тришарошкових бурових доліт

Тришарошкові бурові долота є найскладніші об'єкти сучасного нафтогазового машинобудування. Практика показує, що їх виготовлення можливе тільки на спеціалізованих підприємствах – долотних заводах, де можливо створити усі умови для забезпечення якості на усіх етапах їх створення.

Специфіка виготовлення доліт зумовлює використання спеціальних матеріалів та методів формоутворення. Сучасні вимоги до експлуатаційних показників

тришаршкових бурових доліт ставлять перед долотним виробництвом складну проблему підвищення якісних показників таких доліт. Складність її вирішення обумовлюється багатоманітністю технологічних процесів спеціалізованого основного та допоміжного виробництва бурових доліт, а також комплектуючих елементів бурових доліт (рис. 1.8; 1.9). При цьому застосовуються передові досягнення в технології лиття, кування, механічного оброблення, хіміко-термічної обробки (ХТО), наплавлення зносостійкими матеріалами, складанні, зварюванні та ін. Ці процеси виконуються на складному обладнанні із застосуванням спеціалізованого оснащення, пристроїв, інструменту, контрольовано-виміральної техніки.

Виробництво деталей доліт є багатоетапним технологічним процесом модифікації вихідних якостей заготовок у кінцеві експлуатаційні характеристики готових доліт. Така зміна властивостей і параметрів заготовок здійснюється в складі технологічних систем, до структури яких входять об'єкти модифікації (заготовки) і елементи, які здійснюють задану зміну властивостей технологічного процесу (інструмент, оснащення тощо). У свою чергу, кожна з деталей та їх поєднання мають визначене функціональне призначення. Оскільки функціональність окремих деталей долота визначають функціональність цілого долота, то всі характеристики і показники повинні бути узгоджені.

Для досягнення виробництвом заданої якості бурових доліт, спадкові властивості доліт на кожному з етапів виробництва і експлуатації повинні бути узгоджені. Вони визначають ієрархію сукупності цілей і обмежень, а також номенклатуру показників для виготовлення доліт [36]. Тому проектування ТП доліт повинно ґрунтуватись на використанні максимально допустимого об'єму інформації про конкретні ТП виготовлення деталей та технології складання, умовах їх проведення і якісних вимог, що висуваються до їх результатів.

До основних технологічних етапів, на яких формується якість тришаршкового бурового долота, відноситься: виробництво заготовок; чорнове і напівчорнове механічне оброблення різанням; ХТО; викінчувальне механічне оброблення різанням; складання вузлів і долота в цілому.



Рисунок 1.8 – Основні технологічні процеси виготовлення тришарошкових бурових доліт



Рисунок 1.9 – Схема типового технологічного процесу виготовлення тришарошкового бурового долота

З метою забезпечення виготовлення якісних доліт необхідно обґрунтовано вибирати методи і параметри обробок. Для оцінки останніх необхідно враховувати такі групи чинників [3]:

- які визначають експлуатаційні властивості деталей долота;
- які визначають істотні властивості для попередження виникнення дефектів (утворення тріщин, погіршення поверхні, деформації та ін.);
- які визначають технічну можливість, ступінь складності підготовки та реалізації виробництва, а також економічні показники.

Отже, для забезпечення якісних вимог і конкурентоспроможних техніко-економічних показників, що висуваються до шарошкових доліт, необхідний жорсткий контроль якості на всіх стадіях процесу їх створення, при цьому керуються комплексом вимог до системи управління якістю процесів [37].

Першість у створенні передових конструкцій тришарошкових бурових доліт з герметизованою опорою на радіальних підшипниках ковзання (ці долота відносяться до найдорожчої продуктової лінії) ведуть такі фірми як „Halliburton International, Inc”, „Baker-Hughes International, Inc”, „Shlumberger”, „Smith International”, „National Oilwell Inc”, „Security DBS”, „Varel International”, „Lilin Industrial Park”, „Reed Tool” та ін. На цих фірмах налагоджено гнучку систему проектування, конструювання та мобільного підготовлення виробництва. Це дає сталий розвиток спеціалізованого виробництва широкого спектру конструкцій та типорозмірів доліт. Така система дозволяє у короткі часові терміни задовольняти швидкозмінні потреби і запити споживачів бурових доліт. Стратегія диференціації, яка з успіхом застосовується західними виробниками бурових доліт, обґрунтована жорсткою конкурентною боротьбою. Це стимулює постійне підвищення ефективності технологій у створенні високоякісних нових конструкцій доліт. Це вимагає вирішення не тільки низки конструкторсько-технологічних проблем, як це показано в [39 – 41, 76, 77], а й вдосконалення існуючої технології виготовлення бурових доліт [3, 78].

Сьогодні на провідних фірмах – виробниках тришарошкових бурових доліт „Baker-Hughes International, Inc”, „Smith International”, „Security DBS” та ін. зас-

тосовується система єдиної конструкторсько-технологічної документації що дозволяє забезпечувати високий рівень якості доліт на етапах їх виготовлення. Завдяки цьому досягається тісний зв'язок між проектуванням, конструюванням деталей і долота в цілому та технологією виготовлення. Тут креслення – операційні карти відповідають технологічним маршрутам виготовлення деталей, вузлів та складання секцій доліт у ціле долото. Такі документи містять не тільки кінцеві конструкторські параметри деталей і вузлів долота, а й технологічні розміри, технологічні бази, вимоги якості і конструкторські параметри поверхонь що піддаються технологічним впливам відповідно до конкретних операцій. Невід'ємною частиною такої документації є технологічні інструкції з повним описом типових операцій і переходів для типових технологічних процесів. Тут подаються також карти налагодження кожної операції, включно з контрольними, для всіх типорозмірів доліт що виготовляються на виробництві. Застосування подібної системи конструкторсько-технологічних креслень, які описано в [77] на ВАТ „Уралбурмаш”, дало зниження виробничого браку на 15% та зменшило на 8% кількість контрольних операцій в технологічному процесі виготовлення долота.

Вітчизняне долотобудування побудоване на основі освоєної технології „Dresser International, Inc” і сучасні долота, зокрема, виготовлені на єдиному в Україні потужному підприємстві ТОВ „УніБурТех” (колишній Дрогобицький долотний завд) відповідають вимогам ISO та API [3].

За останні роки здійснено вагомні кроки у вдосконаленні технології виготовлення тришарошкових бурових доліт [3, 39, 40]. Тим не менше, долотне виробництво потребує впровадження нових високоефективних апробованих підходів і технологій, які би забезпечували підвищення якості, економію матеріалів. Відтак забезпечення якісних показників сучасних конструкцій доліт в основному здійснюється існуючою технологією їх виготовлення. Тому актуальність розробки ефективних підходів у вдосконаленні цієї технології не викликає сумнівів, та має важливе практичне значення для вітчизняного долотобудування.

Оскільки долотне виробництво нерозривно пов'язане з постійними дослідженнями і впровадженням нових конструкцій доліт, то особливої ваги набуває

система „наука-техніка-виробництво”. У цій системі технологія виступає елементом, що обіймає весь комплекс процесів вирішення конструкторсько-технологічних завдань в області долотобудування. Функціонування цієї системи дозволяє швидкими темпами здійснювати апробацію та впровадження у виробництво передової технології, обладнання, інструменту. Це забезпечує не тільки підвищення продуктивності праці, але й дозволяє мобільно освоювати виробництво складних конструкцій деталей бурових доліт. [4]

За останні роки розроблено теоретичні підходи до організації автоматизованого виробництва бурових доліт, а також основи автоматизованого оброблення деталей доліт та високоефективного їх зміцнення [39, 77, 79, 80], що впроваджені на долотних заводах холдингової групи ВАТ „ВБМ” та ВАТ „ДДЗ”. Також розроблено комплексний метод вирішення проблеми підвищення якісних та експлуатаційних показників тришарошкових бурових доліт на усіх етапах їх створення на основі процесного підходу [42]. Це добре себе зарекомендувало при впровадженні на ВАТ „ДДЗ”. Тим не менше сьогодні є потреба у подальшій розробці прогресивних підходів у вдосконаленні технології виготовлення бурових доліт що забезпечують підвищення їх якості на етапах їх життєвого циклу.

Поміж важливих задач сучасного долотобудування особливе місце посідають питання підвищення якості механічного оброблення цапф лап тришарошкових бурових доліт. Сьогодні вирішення цієї задачі здійснюється застосуванням високопродуктивних комп’ютеризованих оброблювальних центрів та сучасного інструмента. Однак технологічне забезпечення якості бігових доріжок цапф лап доліт не достатньо пропрацьовано, що є причиною низької довговічності опор тришарошкових доліт. Тому вирішення цієї задачі є актуальним для сучасного долотобудування.

За останні роки, на базі ТОВ „УніБурТех”, використовуючи світовий досвід долотобудування, здійснено важливі кроки у розробці та впровадженні нових високоефективних підходів та технології у підвищенні якості механічного оброблення цапф лап [3, 4, 81, 82]. Тим не менше сьогодні для належного підтримання вітчизняним виробництвом сертифікату якості в Міжнародній організації

по стандартах (ISO) та в Американському нафтовому інституті (API), а також поліпшення показників якості й довговічності доліт потрібні комплексні дослідження. Такі дослідження, як показав аналіз якості технологічних операцій виготовлення тришарошкових бурових доліт, повинні включати питання застосування якісних долотних сталей, формування сприятливого технологічного спадку на етапах від виготовлення заготовки до фінішних обробок, використання сучасного комп'ютеризованого верстатного парку, високоточного технологічного оснащення та інструменту, а також підвищення рівня контролю за якістю операцій тощо. З цією метою в [81, 82] обґрунтовано виконання точного точіння в розмір цапфи лапи до ХТО для забезпечення точності розмірів роликів бігових доріжок порядку 0,01 мм, щоб виключити потребу в шліфуванні. Одночасно в [3, 4] показано, що застосування сучасних оброблювальних центрів вимагає дослідження технологічного забезпечення якості не тільки окремо взятих роликів бігових доріжок, а й інших відповідальних елементів цапфи лапи, і особливо бігових доріжок замкового кулькового підшипника. Отже необхідно встановити можливість забезпечення точності та стабільності отримання заданих конструкторських показників бігових доріжок цапфи лапи у єдиному процесі автоматизованого точіння.

1.4 Аналіз виробничого браку та дефектів деталей при виготовленні тришарошкових бурових доліт

Аналізом фактів браку на основних технологічних операціях встановлено найбільш поширені причини його виникнення (табл. 1.2, 1.3).

Основною причиною виникнення браку на технологічних операціях виготовлення доліт є невідповідність хімічного складу плавки долотної сталі, які сьогодні поставляються на підприємства по технічних умовах що допускають широкий спектр розсіювання показників хімічного складу та механічних властивостей. Проведення на входному контролі стандартного хімічного аналізу плавки сталі не ставить за мету виявлення її повного хімічного складу. Також показники

границі плинності, відносного звуження і ударної в'язкості можуть бути прийняті факультативно.

Таблиця 1.2 – Аналіз браку на основних технологічних операціях

Технологічна операція	Процентна доля від браку на усіх операціях в технологічному процесі цеху (%)			
	X ₁	X ₂	X ₃	сер.
Штампування лап, шарошок	98	98,6	100	98,867
Наплавлення деталей	21,6	26,7	35,6	27,967
Хіміко-термічна обробка деталей	40,3	43,1	48,6	44,000
Свердління отворів під вставні зубки	11,3	17,7	30,4	19,800
Розвірчування отворів під вставні зубки	21,9	26,9	29,2	26,000
Пресування твердосплавних зубків	1,3	1,4	2,9	1,867
Шліфування лап, шарошок	36,5	36,7	58,7	43,967
Фрезерування зубів шарошок	0,3	0,5	10,7	3,833
Чистове розточування шарошок	37,7	40	51,3	43,000
Фрезерування шарошок	6,6	10	12	9,533
Точіння цапфи лапи	4,2	13,2	21,7	13,033
Точіння конусів шарошок	8,8	18,3	24,3	17,133
Свердління лап	11,1	16,2	16,7	14,667
Фрезерування лап	1,2	1,9	2,9	2,000
Перше точіння цапфи лапи	71,6	78,8	87,2	79,200
Кінцеве точіння цапфи лапи	2,5	5,6	12,7	6,933

Зокрема, на операціях механічного оброблення деталей виникають труднощі в механічному обробленні лезовим інструментом. Виникає брак при термообробках, при зварюванні лап, а також формоутворенні ніпельної частини долота у зібраному стані. Брак у вигляді крихкого руйнування деталей доліт також може виявлятися на перших етапах буріння, що спричинює аварійні ситуації на бурових роботах. Оцінка якості деталей і вузлів долота, що досягається при їх виготовленні на операціях технологічного процесу виготовлення долота показала, що найбільша кількість браку виявляється при виготовленні кованок лап і шарошок. Частими є не заповнення торців ніпеля, цапфи, що веде до браку, зменшення величини осадки, що призведе до заковування окалини та потребуватиме додаткових двох – трьох переходів для видовження поковки лапи.

Таблиця 1.3 – Аналіз причин виникнення браку на основних технологічних операціях

Технологічна операція	Невідповідність матеріалу заготовки, нетехнологічний прокат, %	Налагодження операції, %	Людський чинник, %	Відмова технологічного устаткування, верстатів, %	Відмова інструменту, %	Освоєння операції, %	Недосконалість технології, %	Вимкнення електроенергії, перепади параметрів електромережі, %
Виготовлення заготовки лапи, шарошки	1,9; 4,1; 11,5		6,5	24,4				
Наплавлення	12; 18	15	11; 33,8; 35,6			19,1	41	0,5
ХТО деталей	11,7		3	9,8; 31,4				36,5
Свердління отворів під вставні зубки		34,2	9,6; 23,9; 27,7	0,17; 3,8; 12,6;	37,5			
Розвірчування отворів під вставні зубки		46,2			70,3	4,8		0,2
Пресування зубків	67,9		87,5					
Шліфування лапи, шарошки	44,2						34,8	
Фрезерування зубів шарошки		10,1	3,2	13,7		12		2,8
Точіння чистове порожнини шарошки, цапфи лапи		47,7; 64,6; 78,4	5,7; 10,9; 18,8	14,8; 20,3; 30,3		3		2,3
Обточування цапфи лапи		43,2; 77,2; 93,4	6,9; 17,4	6,9; 22,9; 28,5		6		8,9

У інших випадках фіксується неможливість проводити осадку під пресом для набування необхідного максимального перерізу. У обох випадках причиною є неправильний вибір параметрів заготовки. Брак також виникає через проблеми в налагодженні устаткування та штамповому інструменті.

Друге місце за кількістю браку посідає механічне оброблення деталей, третє місце, – операції ХТО. Одночасно треба відмітити операції пресування твёрдосплавних зубків, фрезерування на оброблювальних центрах з ЧПК і кінцеве точіння на верстатах з ЧПК. Тут, як правило, найнижчі показники з виникнення браку. Тим не менше налагодження таких операцій є досить трудомістким процесом, до якого залучаються як правило досвідчені фахівці. Зокрема, на механічних операціях обробленням лезовим інструментом виникають проблеми при точінні бігових доріжок опор як на цапфі лапи так і на шарощці, а також при формоутворенні отворів під вставні породоруйнівні вставки. Такий стан речей обумовлений недостатністю рівня налагодження операцій, впливом людського чинника, а також спричинений відмовою устаткування й інструменту.

Незважаючи на повну автоматизацію процесів ХТО, при термообробці деталей доліт фіксується значна кількість браку. Це обумовлюється проблемами правильного вибору параметрів процесу при їхньому моделюванні та реалізації програми. Аналізом виникнення браку деталей доліт після цементації встановлено, що ХТО змінює якісні конструкторські параметри елементів опор кочення, які були отримані при механічному обробленні цапф лап і порожнин шарошок. Також, у деяких випадках ХТО не дає необхідних параметрів міцності та контактної витривалості зміцнених поверхонь.

Аналізом причин виникнення браку встановлено таке. Невідповідність матеріалів заготовок та інші їхні незадовільні параметри може пояснювати від 4,7% до 44% браку. Людський чинник складає від 3% до 35% браку, а відмова технологічного устаткування та недостатня якість інструменту є причиною від 6% до 30% браку. Між браком та формуванням несприятливого технологічного спадку, який має місце ще на етапах завантаження нетехнологічного прокату долотної сталі у виробництво, а також на операціях мехобробки й термообробки

існує високий кореляційний зв'язок. Зважаючи на вимоги до якості продукції (ДСТУ ISO 9001-2001), що включають: експлуатаційні вимоги до доліт; вимоги необхідні для забезпечення якості виготовлення доліт; характеристики і тенденції відхилень процесів та продукції, у тому числі можливості запобіжних дій, можна констатувати, що існує нереалізований резерв у комплексному вдосконаленні технології виготовлення тришарошкових бурових доліт.

1.5 Процесний підхід до формування якості тришарошкових бурових доліт на етапах їхнього життєвого циклу

Підвищення якості та експлуатаційних показників тришарошкових бурових доліт визначається науково-технічним рівнем не тільки у підходах до організації, забезпеченні і реалізації виробничих процесів, а й ефективності підтримання життєвого циклу доліт. Традиційні підходи до вирішення конструкторсько-технологічних задач з проектування, конструювання, підготовки і реалізації виготовлення не дозволяють забезпечити необхідну якість процесів, а відтак доліт. Тому сьогодні актуальним є підвищення конкурентоздатності доліт впровадженням інтегрованих автоматизованих інформаційних систем і технологій, що добре себе зарекомендували у світовій практиці машинобудування.

Сьогодні широко відомий досвід досягнення високої довговічності доліт фірмою „Halliburton”, яка керується передовою парадигмою виробничих процесів. Сіть її у підвищенні ефективності процесів проектування і виготовлення за рахунок впровадження високогнучкого комп'ютеризованого підготовки нових конструкцій доліт та їх освоєння для виробництва [83]. Тому, на вимогу сучасності, забезпечуються мінімальні затрати при випуску малих партій доліт. Отже перспективним і ефективним бачиться поєднання всіх стадій створення сучасних конструкцій доліт в єдину інформаційну систему.

Для створення інформаційних автоматизованих систем сьогодні широко застосовується такі програмні продукти як: CAD (Computer-Aided Design) – графічне моделювання і автоматизоване створення конструкцій; CAE (Computer-Aided Engineering) – інженерне моделювання, синтез і аналіз конструкцій; CAM

(Computer-Aided Manufacturing) – технологічна підготовка виробничих процесів [84]. Одночасно, за останні роки почали широко застосовуватися спеціальні програмні середовища для підтримки різноманітних автоматизованих процесів життєвого циклу об'єктів виробництва. При цьому важливим є сумісність і мобільний перехід від підготовки виробництва до створення керуючих програм технологічних процесів, як це показано в [3, 4]. Отже, на сучасному технічному рівні виготовлення доліт необхідно застосовувати спеціалізовані обробляючі центри із ЧПК, які забезпечують високу якість механічного оброблення для конкретних технологічних процесів.

Зокрема, впровадження концепції інтегрованих автоматизованих виробничих систем (IABC) поставила питання про злиття в єдиний, взаємозв'язаний комплекс різних етапів виробництва: проектування об'єктів виробництва, підготовку виробництва нових об'єктів, різні стадії планування виробництва і процесів [40]. Однак такі нововведення на долотних підприємствах є проблематичними через недостатнє фінансування нових проектів та низький рівень розробки теоретичної і практичної бази інтеграції інформаційних автоматизованих систем у реальне виробництво. На ВАТ „Волгабурмаш” [85], а також на колишньому ВАТ „ДДЗ”, вдалося об'єднати складні технологічні операції механічного оброблення в один автоматизований процес [4]. Це дозволило створити гнучкі технологічні лінії, які мобільно переналагоджуються. Одночасно постала необхідність у подальшому впровадженні процесного підходу та інтеграції окремих автоматизованих процесів у єдину систему гнучкого комп'ютеризованого виробництва високоякісних доліт широкої номенклатури і типорозмірів [5].

Одна з відомих концепцій створення гнучкого машинобудівного підприємства передбачає цільову орієнтацію на інформатизацію технологій з підтримання життєвого циклу продукції – CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support – неперервна інноваційна підтримка життєвого циклу продукції). Ідеологія такої концепції полягає у повній комп'ютеризації виробництва і створенні віртуального електронного інформаційного простору в якому здійснюється документообіг (конструкторська та технологічна, управлінська документація, ДСТУ, ТУ, СТП

тощо). Це дозволяє: комп'ютеризувати процеси виробництва, оптимізувати кількість процесів і підвищити швидкість отримання даних про процеси та їх мобільне застосування. Для реалізації CALS у світовій практиці дотримуються Стандарту ISO 10303 Product data representation and exchange (представлення даних про виріб і обмін ними). Це дозволяє, як обмінюватися даними з проектів різного виконання виробів і їх 3-D моделях, а й як показано в [86], створювати концептуальні моделі та бази знань для якісного призначення конструкторсько-технологічних параметрів деталей. Одночасно інтегровані системи комп'ютеризованого і автоматизованого виробництва, за умови відповідності Стандарту ISO 10303, відкривають можливості прискорювати комунікацію і якісний зв'язок із суміжними підприємствами що виробляють необхідні матеріали у вигляді прокату, комплектуючі, інструменти, верстати, комп'ютерні програми тощо [5].

Відомо, що системно-інформаційний підхід до синтезу комп'ютерно-інтегрованих технологій машинобудування використовує основні ідеї теорії інформації для розвитку виробничих систем і процесів на етапах життєвого циклу виробів [87]. Тим не менше, сьогодні спостерігається брак практичних розробок для ефективного застосування інженерами у машинобудівному виробництві інформаційних інтегрованих систем та CALS-технологій. Найбільшою проблемою інтеграції у виробничих процесах (з метою вдосконалення діяльності щодо підвищення якості виробів на етапах життєвого циклу виробів) вважається застосування уніфікованих комп'ютерних технологій і програмного забезпечення, необхідної документації для функціонування машинобудівного виробництва (проектна, конструкторська, технологічна, управлінська документація, СТП тощо) [5].

Сьогодні багато уваги приділяють удосконаленню технологічних операцій виготовлення бурових доліт [39, 40, 88]. Однак для створення цілісної системи, згідно якої можна виходити на новий рівень створення тришаршкових доліт, необхідно розробити принципи поєднання і узгодження проектних, матеріалознавчих, конструкторсько-технологічних, організаційних та ін. робіт. З цією метою доцільно розробити практичні рекомендації щодо застосування процесного підходу до формування якості бурових доліт на етапах їхнього життєвого циклу.

У єдиному неперервному та регульованому процесі, що охоплює всі сторони формування якості долота, який ураховує його життєвий цикл (довиробничий, виробничий і післявиробничий), найбільш затратними є довиробничий та виробничий. Тому проблема системного забезпечення якості на цих етапах має першочергове значення

1.6 Висновки та задачі досліджень

1. Забезпечення якісних показників сучасних конструкцій доліт в основному здійснюється існуючою технологією їх виготовлення. Тому актуальність розробки ефективних підходів у вдосконаленні цієї технології не викликає сумнівів, та має важливе практичне значення для вітчизняного долотобудування. Вітчизняне долотне виробництво не завжди може забезпечувати сталі експлуатаційні показники тришарошкових доліт на рівні зі світовими. Це може пояснюватися тим, що ще не достатньо вивчено вплив параметрів основних операцій технологічного процесу виготовлення на післяопераційні та кінцеві параметри якості деталей та готових бурових доліт.

2. Застосування існуючої технології, яка включає повторні нагриви після цементації веде до непрогнозованого виникнення деформацій та викривлень шарошки і цапфи лапи. Все це нівелює якісні конструкторські параметри отримані як на попередніх, так і на наступних (викінчувальних) операціях механічного оброблення. З цією метою необхідно вивчити проблему забезпечення якісних показників цементованих деталей тришарошкових бурових доліт. Для цього слід розкрити взаємозв'язок між фізико-механічними та технологічними показниками долотних сталей, параметрами технологічних процесів виготовлення та якісними конструкторськими показниками елементів опор (порожнин шарошок а також цапф лап) бурових доліт.

3. Технологічне забезпечення якості конструкторських параметрів та високі експлуатаційні показники бігових доріжок шарошок та цапф лап доліт не достатньо пропрацьовано, що є причиною низької довговічності опор тришарош-

кових доліт. Тому необхідно встановити умови забезпечення точності та стабільності отримання заданих конструкторських показників бігових доріжок шарошок та цапф лап у єдиному процесі автоматизованого точіння.

4. Підвищення якості вставного породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт повинно здійснюватися комплексно: вдосконаленням конструкції елементів шарошки та вставних зубків, а також необхідний пошук резервів у вдосконаленні технології виготовлення шарошок. З цією метою необхідно встановити взаємозв'язки між показниками твердості тіла вінців шарошки й параметрами процесу формоутворення отворів та якістю готових отворів під вставні твердосплавні зубки. Слід підібрати ефективний інструмент 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 тришарошkových бурових доліт.

5. Сьогодні гостро відчувається брак системного підходу до забезпечення якості доліт не тільки на етапі виготовлення, а на всіх етапах їх життєвого циклу. Для створення цілісної системи, згідно якої можна виходити на новий рівень створення тришарошkových доліт, необхідно розробити принципи поєднання і узгодження проектних, матеріалознавчих, конструкторсько-технологічних, організаційних робіт в єдиній інформаційній системі. Тут необхідно розробити практичні рекомендації щодо застосування процесного підходу щодо формування якості тришарошkových бурових доліт на етапах їх життєвого циклу. Для підтвердження адекватності таких принципів та інформаційної системи реалізації процесу проектування, конструювання, підготовки виробництва і виготовлення деталей бурових доліт, слід здійснити апробацію в умовах реального виробництва бурових доліт на предмет якості отримання ефекту у підвищенні якості процесів на етапах життєвого циклу доліт.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ

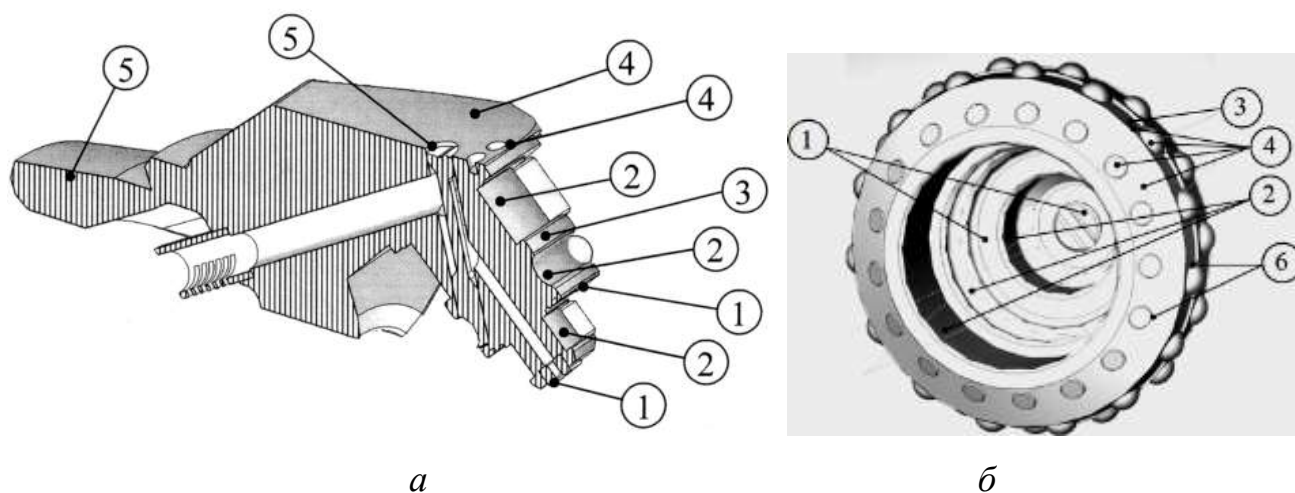
2.1 Теоретичні основи формування якості тришарошкових бурових доліт на основних етапах їх формування

Теоретичним підґрунтям для побудови принципів поєднання проектування, конструювання і виготовлення деталей і доліт у цілому є функціонально-орієнтований підхід [89], а також критерії вибору шляхів підвищення якості та високих експлуатаційних показників тришарошкового бурового долота, як виробу. Оскільки виготовлення тіл кочення підшипників опори та вставне твердосплавне захисне і породоруйнівне оснащення доліт виготовляється на спеціалізованих виробництвах, то детальніше зупинимось на методичних аспектах проектування та реалізації процесів створення лапи, шарошки і складальних операціях. З цією метою застосовується спосіб декомпозиції. Застосовано три декомпозиції лапи і шарошки – конструкторську, матеріалознавчу, технологічну. А це в свою чергу, враховуючи результати роботи [90], передбачає системний підхід до постановки і вирішення конструкторсько-технологічних задач [4]:

- забезпечення технологічно орієнтованого проектування конструкцій лапи та шарошки;
- забезпечення паралельної технологічної підготовки виробництва з урахуванням технологічних засобів;
- забезпечення реалізації конструкторсько-технологічних рішень у технологічному процесі виготовлення лапи і шарошки.

Для формулювання задач перед проектуванням важливим етапом є обґрунтоване висунення множини вимог до лапи і шарошки та їх елементів згідно даних декомпозиції. Це стає можливим шляхом аналізу елементів конструкції лапи і шарошки з урахуванням досвіду виготовлення та експлуатації (рис. 2.1)

[4]. Виділені вимоги формують основні задачі вибору відповідних матеріалів, пошуку та встановлення найбільш оптимальних конструкторських параметрів елементів деталей, а також застосування ефективних технологічних операцій при їх виготовленні.



- 1 – зносостійкість в умовах тертя ковзання і дії високих контактних температур;
 2 – контактна витривалість і зносостійкість в умовах тертя кочення;
 3 – стійкість до пластичної деформації та крихкого руйнування;
 4 – зносостійкість в умовах дії гідро-абразивного, ударно-абразивного впливів;
 5 – забезпечення доброї зварюваності; 6 – стійкість до випадання

Рисунок 2.1 – Конструкції лапи (а) і шарошки (б) тришарошкового бурового долота з вставним твердосплавним породоруйнівним та захисним оснащенням, в яких виділено елементи, до яких висуваються функціонально-експлуатаційні та технологічні вимоги [4]

Формування якості шарошкових доліт починається на стадії проектування, коли закладаються всі основні показники якості долота. Конструкція шарошкового долота є агрегатом взаємозв'язаних вузлів, деталей, елементів і матеріалів, що функціонують у складних умовах експлуатації. За таких умов якість окремих елементів конструкції здійснює вирішальний вплив на ефективність

функціонування долота. Тому важливим є не тільки пошук досконалої конструкції елементів і долота в цілому, а й обґрунтований вибір матеріалів, що забезпечують технологічні, експлуатаційні та економічні показники [4].

До основних технологічних етапів, на яких формується якість шарошкового долота, відноситься: виробництво заготовок; чорнове і напівчорнове механічне оброблення різанням; хіміко-термічна обробка; зміцнення наплавленням зносостійким сплавом; викінчувальне механічне оброблення різанням; складання вузлів і долота в цілому; формоутворення різи на ніпельній частині зібраного долота. Зауважимо, що важливим аспектом у долотобудуванні є забезпечення якості та економії матеріалів на етапах життєвого циклу тришарошкових доліт [6].

З метою забезпечення виготовлення якісних доліт необхідно обґрунтовано вибирати методи і параметри обробок. Для оцінки останніх необхідно враховувати такі групи чинників [4]:

- які визначають експлуатаційні властивості деталей долота;
- які істотні для попередження виникнення дефектів, таких, як утворення тріщин, погіршення поверхні, деформації та ін.;
- які визначають технічну можливість, ступінь складності підготовки та реалізації виробництва, а також економічні показники.

Необхідно зауважити, що для реалізації виробництва важливим є пошук способів організації та реалізації операцій технологічного процесу виготовлення деталей і долота в цілому. З цією метою необхідно встановити, спроектувати і виготовити чи застосувати спеціалізований інструмент та оснащення й верстати. Для забезпечення мобільності та ефективності вирішення цих задач необхідно створити інформаційну базу типових моделей конструкцій та інструменту для автоматизованого проектування і створення керуючих програм для реалізації технологічних операцій.

Здійснювали моделювання конструкцій, технологічних операцій механічного оброблення та керуючих програм для цехових обробляючих центрів типу MCV, TV650, VSC у середовищі Cimatron E і сумісного з ним HEIDENHAIN

TNC. Для виявлення взаємозв'язків між формоутворенням деталей та їх показниками якості й експлуатаційними показниками застосовано системний та ступенево-логічний аналіз згідно методики [91].

Послідовність реалізації комплексної програми здійснення теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи подана на рис. 2.2. Дослідження закономірностей формування якісних фізико-механічних і конструкторських параметрів деталей тришарошkových бурових доліт полягає у виборі та модернізації інженерних методик, які зводяться до вивчення методів підвищення якості таких доліт на етапах їхнього життєвого циклу, планування експериментів та моделювання з метою оптимізації параметрів технологічних процесів, що в цілому повинно забезпечити мобільність в освоєнні долотним виробництвом передових конструкцій бурових доліт та широкої гами їхніх типорозмірів. Дослідження здійснювали на базі ТОВ „УніБурТех” (м. Дрогобич) яке спеціалізується на виготовленні тришарошkových бурових доліт. Дослідження ґрунтуються на проведеному комплексі стандартних лабораторних, стендових та натурних, а також експериментів в цехах. З метою отримання адекватних результатів досліджень застосовано математичне планування експериментів та сучасні методи теорії ймовірності та математичної статистики, висунення та перевірки гіпотез. Математична обробка експериментальних даних, а також математичне моделювання досліджуваних процесів проводились за допомогою програмного пакету MathCAD фірми MathSoft.



Рисунок 2.2 – Схема комплексної програми теоретичних та експериментальних досліджень

2.2 Теоретичні основи вибору технологічних операцій для побудови раціональних маршрутів виготовлення тришарошкових бурових доліт

У побудові раціональних технологічних маршрутів основною проблемою є вибір одного із множини варіантів технологічних операцій. При цьому кожен варіант E_i передбачає конкретний результат e_i . Ці результати мають допускати кількісну оцінку. Для спрощення, ці оцінки ототожнюються з конкретними результатами які будемо позначати так само – e_i .

Загалом, задача зводиться до пошуку такого варіанта, який дає найбільше оціночне значення результату ($\max_i e_i$). Оцінки ефективності технологічної операції характеризується узагальненим показником якості (конструкторські параметри, експлуатаційні показники, економічні показники). При оцінці затрат чи втрат можна дослідити таким самим шляхом мінімізації оцінки, чи як це часто робиться, за допомогою розглядання негативних наслідків, втрат тощо.

Вибір раціонального варіанта технологічної операції здійснюється за допомогою критерію, згідно теорії прийняття оптимального рішення:

$$E_0 = \left\{ E_{i_0} \mid E_{i_0} \in E \wedge e_{i_0} = \max_i e_i \right\}, \quad (2.1)$$

де E_0 – множина оптимальних варіантів технологічних операцій,

E_{i_0} – варіанти технологічних операцій, у яких оцінка є максимальна,

E – множина усіх прийнятих варіантів технологічних операцій,

e_{i_0} – максимальні оцінки варіантів технологічних операцій,

e_i – оцінки варіантів технологічних операцій.

Множина E_0 оптимальних варіантів складається з варіантів технологічних операцій E_{i_0} , які належать множині усіх варіантів прийнятих технологічних операцій E і оцінка e_{i_0} яких є максимальна серед всіх оцінок e_i . Логічний знак \wedge читається як «І», та вимагає, щоб обидва зв'язані ним твердження були істинними.

Вибір оптимального варіанта технологічної операції, відповідно до критерію максимальної ефективності, не може бути однозначним, бо максимальний результат може досягатися у множині усіх результатів прийнятих технологічних операцій багатократно. Необхідність вибирати одне з декількох однаково добрих, сприятливих технологічних операцій, як правило, не створює додаткових труднощів. Навпаки, уможлиблює вибрати те альтернативне рішення, яке можна реалізувати за конкретних умов та з мінімальними труднощами.

У випадку складніших структур, кожному допустимому варіанту технологічних операцій, унаслідок різних зовнішніх умов, можуть відповідати різні зовнішні умови (стани) та результати прийнятих технологічних операцій.

У нашому випадку, при виготовленні тришарошкових бурових доліт проектується технологічний маршрут виготовлення деталі долота (лапа, шарошка) з регламентованою множиною технологічних операцій. При виборі раціональних технологічних операцій варіанти рішень такі:

E_1 – вибір технологічних операцій, що забезпечили б максимальну якість, тобто виготовлення виробу з мінімальними затратами у припущенні про те, що деталь долота (лапа, шарошка) буде зберігати свої якісні характеристики протягом тривалого часу;

E_m – вибір технологічних операцій, відповідно до припущення про мінімальну якість;

E_i – проміжне рішення;

Для прийняття рішення необхідні умови, яких слід дотримуватися:

F_1 – умови, що забезпечують максимальну якість;

F_n – умови, що забезпечують мінімальну якість;

F_j – проміжні рішення.

Під результатом рішення e_{ij} щодо прийняття технологічної операції можна вважати таку оцінку, яка відповідає варіанту E_i і умовам F_j та характеризує економічний ефект (прибуток), якість виробу.

Математично сімейства рішень описують як правило матрицями (табл. 2.1).

Оцінюючи варіанти технологічних операцій, слід вибрати такі, що характеризуються найкращим результатом, але, оскільки невідомі умови з якими можна зіткнутися при проектуванні технологічних маршрутів, необхідно приймати до уваги всі оцінки e_{ij} , що відповідають варіанту E_i . Відтак задача щодо максимізації $\max_i e_i$ згідно критерію (2.1) має бути замінена іншою. Нова задача повинна якнайкраще враховувати всі наслідки будь-якого з варіантів рішення E_i .

Таблиця 2.1 – Матриця рішень $\|e_{ij}\|$ для встановлення раціональної технологічної операції у технологічному маршруті виготовлення деталей бурових доліт

	F_1	F_2	F_3	...	F_j	...	F_n
E_1	e_{11}	e_{12}	e_{13}	...	e_{1j}	...	e_{1n}
E_2	e_{21}	e_{22}	e_{23}	...	e_{2j}	...	e_{2n}
E_3	e_{31}	e_{32}	e_{33}	...	e_{3j}	...	e_{3n}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots		\vdots
E_m	e_{m1}	e_{m2}	e_{m3}	...	e_{mj}	...	e_{mn}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots		\vdots
E_i	e_{i1}	e_{i2}	e_{i3}	...	e_{ij}	...	e_{in}

При прийнятті рішень враховуємо всі наслідки будь-якого з варіантів рішення. При цьому виходимо з того, що необхідно орієнтуватися на найбільш сприятливий випадок і приписуємо кожному з альтернативних варіантів технологічних операцій найгірший з можливих результатів. Після цього вибираємо найкращий варіант, тобто очікуємо найкращий результат у найгіршому випадку. Для кожного іншого зовнішнього стану результат може бути тільки рівним вибраному варіанту технологічної операції кращим за нього. Для кожного варіанта технологічної операції оцінюються рівень досягнення якості виготовлення. Далі порівнюють визначений найкращий прийняті технологічні операції з кожним варіантом. Потім, із множини найгірших варіантів технологічних операцій вибирають найкращий, згідно з попередньою оцінкою.

2.3 Методи побудови технологічного процесу виготовлення тришарошкових бурових доліт

Формування заданого рівня якості тришарошкових бурових доліт здійснюється на всіх стадіях технологічного процесу. І між якістю виконання технологічних операцій виготовлення деталей доліт й складання долота та експлуатаційними показниками долота є кореляційний зв'язок [92]. З іншої сторони, зупинка на загальних вимогах до технологічних процесів унеможливорює об'єктивний вибір критеріїв оцінки рівня формування рівня якості на етапах виготовлення доліт. Наприклад, невраховування рівня концентрації виробництва може спричинити у одному випадку до зростання кількості робочих операцій і переходів (недостатня концентрація), у іншому – до зростання складності та зниження надійності технологічної підсистеми (надмірна концентрація). Тому оцінювання процесів необхідно розглядати нерозривно від технологічних маршрутів. З цією метою вдосконалено інженерну методику побудови оптимального технологічного маршруту, описану в [17].

Виходили з того, що будь-який виріб – об'єкт моделювання можна подати у вигляді контурів S_i з множиною властивостей $\Theta(S_i)$. Тоді контури S_i

оброблених деталей, рівень автоматизації, концентрації виробництва тощо), функціонально-експлуатаційних (експлуатаційні показники доліт, а також для оброблених деталей доліт значення і характер кривих зносостійкості, контактної витривалості, тріщиностійкості тощо), економічних (допустимі енергозатрати, матеріалоємність, продуктивність, собівартість тощо) показників якості. Зрештою, математична модель буде мати вигляд [9]:

$$\begin{aligned} \theta_{01}(d_i) &= \bigcup_{j=1}^m \left(\bigcap_{t=1}^p \theta_{i_t}^{01} \right)_j \\ &\dots\dots\dots \\ \theta_{0n}(d_i) &= \bigcup_{j=1}^m \left(\bigcap_{t=1}^p \theta_{i_t}^{0n} \right)_j. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Для переходу від моделі до реалізації технології важливу роль відведено повноті електронної бази даних про якісні вимоги до деталей, а також можливості технологічного устаткування, верстатів, інструменту тощо, у забезпеченні заданого рівня якості технологічних операцій.

Як правило, при моделюванні технологічних маршрутів враховують дві системи: устаткування, інструмент, верстати та інші об'єкти, що забезпечують технологічні операції і переходи, а також систему результатів процесів виробництва. Обидві системи мають логічний об'єднуючий зв'язок. І процес виготовлення деталей доліт та долота моделюється у вигляді упорядкованої послідовності технологічних подій, у результаті яких якісно змінюється форма і показники матеріалу заготовки [17]:

$$l_i = (l_1, l_2, l_3, \dots, l_{k-1}, l_k, \dots, l_n) \quad (2.6)$$

Кожен з операторів моделі відповідає реалізації конкретної операції. Кожен оператор допускає певну множину варіантів отримання заданих параметрів конструкції, фізико-механічних, експлуатаційних показників. Відтак створюються умови генерації альтернативних варіантів виконання операцій. Графічно модель технологічних процесів подається у вигляді орієнтованих графів, де вузлами

виступають оператори ι_k . Кожен контур графу, побудований відповідно до параметричної умови $\theta_j(\iota_k) = 1$.

Критеріями оптимальності варіанту технологічного процесу є мінімальний шлях в дереві графу. Мінімальний шлях – це мінімально можлива множина операторів, що забезпечують якісну реалізацію технологічного процесу:

$$H_{min} = \{i : \iota_i = 1\}. \quad (2.7)$$

За умови $\theta(\iota) = 1$ і $\theta(t) = 0$ для довільного $t \leq \iota$, але не тотожно рівного ι то H_{min} – мінімальний шлях. Розмір такого шляху визначається числом операторів які належать цьому шляху. Для кожного такого шляху H_{min_j} , де $j = 1, 2, \dots, r$, є двійкова логічна функція

$$\alpha_j(\iota) = \prod_{i \in H_{min_j}} \tau_i, \quad (2.8)$$

яка приймає значення логічної одиниці якщо оператори в мінімальному шляху задовольняють умови якості. Такі умови якості встановлюються з міркувань описаних в [3, 4, 17]. А їх числові чи параметричні значення призначаються на основі даних експериментальних досліджень, а також джерел нормативної, довідкової інформації.

Другим критерієм оптимальності варіанту технологічного процесу є максимальне забезпечення показників якості за умов мінімального шляху.

Здійснене таким чином моделювання виявило ключові операції узагальненого технологічного маршруту, які визначають потужність того чи іншого варіанту маршруту. Це операції кування заготовок, механічного оброблення цапф лап, порожнин та породоруйнівного (сталевого) оснащення чи зовнішньої поверхні шарошок з отворами під посадку твердосплавного породоруйнівного оснащення, хіміко-термічної обробки шарошок і лап, наплавлення зносостійкими матеріалами шарошок і лап, складання секцій в „букет”, механічне оброблення ніпельної частини долота (додаток А) [9].

Вдосконалення складальних операцій при виготовленні шарошкових доліт традиційно сформувалися такі напрямки: оптимізація конструкції ділянок припа-

сування і з'єднання (формування західних фасок у хвостовиках твердосплавних вставок, фрезерування фасок на лапах для зварювання секцій тощо), вибір раціонального технологічного процесу (пресування з гарантованим натягом: твердосплавних вставок в лапу і шарошку, п'ят, підп'ятників, втулок підшипників ковзання, зварювання секцій тощо); створення конструкцій засобів його забезпечення з застосуванням механізації та автоматизації праці, а також впровадження жорсткого керування та контролю якості виконання технологічних процесів. Особливо це стосується ручного складання, застосування якого обумовлено широким асортиментом конструкцій опор. Перевагою такого способу є простота і відсутність потреби в спеціалізованому обладнанні [3, 9].

Технологічний процес складання долота повинен забезпечити отримання основних параметрів у межах заданих норм точності. Вирішення цієї задачі залежить від того, наскільки правильно вибрані технологічні установочні і контрольні базові поверхні при механічному обробленні і складанні долота. Тобто на складальних операціях можуть виявлятися невраховані на попередніх операціях вимоги до якісних показників складальних одиниць. Тому особливої ваги набуває докладне конструкторсько-технологічне пропрацювання та доведення долота. Це здійснюється виготовленням пробного зразка і його випробуванням у стендових умовах з отриманням максимальних даних для правильного налагодження виробництва якісних доліт.

Підвищення точності формування ніпельної частини долота може бути вирішене шляхом вибору оптимальної конструкції упорних елементів для надійної установки і самоцентрування долота. При цьому до параметрів баз установки долота повинні бути висунуті строгі вимоги щодо забезпечення точності [3].

Аналізом відхилень осі ніпеля при базуванні по поверхнях калібруючих поверхнях шарошок встановлено, що на точність суттєво впливає радіальне биття і зазори між опорними поверхнями пристрою і породоруйнівного оснащення. При цьому кожна конструкція шарошки і її породоруйнівне оснащення вимагає спеціального налагодження пристрою для установу долота. Приклади конструкцій таких пристроїв описано в [3].

2.4 Технологічне забезпечення якості механічного оброблення цапф лап тришаршкових бурових доліт з герметизованою опорою ковзання

Для вирішення цієї задачі був застосований досвід, описаний в [3]. Для отримання шорсткості оброблених поверхонь $R_a 0,8$ мм (по контакту $R_a 0,63$ мм) встановили подачу $s=0,12$ мм/об і припуск на чистовий прохід калібрування 0,3 мм на сторону.

Для статистичного оцінювання отриманих результатів експерименту був використаний метод малих вибірок, оскільки він дає можливість відслідкувати динаміку зміни точності процесу оброблення і його налагодженості в часі. 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.

Для вивчення рівня якості оброблення цапф лап застосовано оброблювальний центр моделі SPV 40 CNC з пристроєм для балансування моделі CX Balancer.

Результати вимірювань діаметрів периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи, обробленої у кінцевий розмір, подано у вигляді точкової діаграми на рис. 2.5.

Для кожної вибірки обчислено: середнє арифметичне \bar{X}_i , дисперсія s_i^2 , середнє квадратичне відхилення s_i (табл. 2.2).

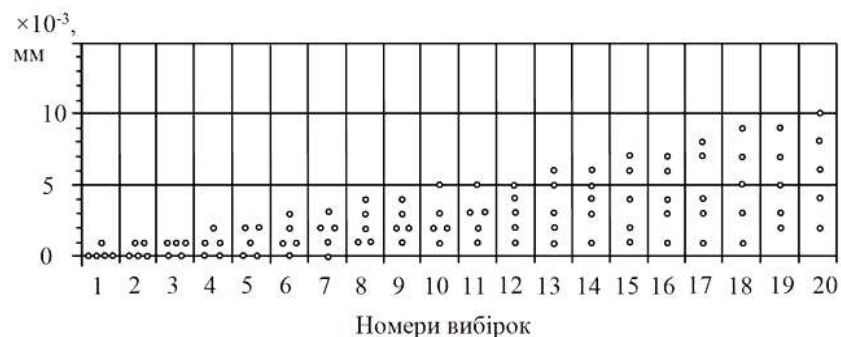


Рисунок 2.5 – Точкова діаграма розсіювання відхилень діаметрів периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи бурового долота 215,9 FS3 UT275 після досліджуваного кінцевого точіння в розмір $\text{Ø}49,6_{-0,04}$ мм

Таблиця 2.2 – Результати статистичних обчислень для оцінки відхилення діаметрів периферійної великої опори підшипника ковзання після точіння в кінцевий розмір

№ вибірки	\bar{X}_i	s_i^2	s_i
1	$2,0 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-7}$	$4,472 \times 10^{-4}$
2	$4,0 \times 10^{-4}$	$3,00 \times 10^{-7}$	$5,477 \times 10^{-4}$
3	$6,0 \times 10^{-4}$	$3,00 \times 10^{-7}$	$5,477 \times 10^{-4}$
4	$8,0 \times 10^{-4}$	$7,00 \times 10^{-7}$	$8,367 \times 10^{-4}$
5	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-6}$	$1,000 \times 10^{-3}$
6	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-6}$	$1,140 \times 10^{-3}$
7	$1,6 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-6}$	$1,140 \times 10^{-3}$
8	$2,2 \times 10^{-3}$	$1,70 \times 10^{-6}$	$1,304 \times 10^{-3}$
9	$2,4 \times 10^{-3}$	$1,30 \times 10^{-6}$	$1,140 \times 10^{-3}$
10	$2,6 \times 10^{-3}$	$2,30 \times 10^{-6}$	$1,517 \times 10^{-3}$
11	$2,8 \times 10^{-3}$	$2,20 \times 10^{-6}$	$1,483 \times 10^{-3}$
12	$3,0 \times 10^{-3}$	$2,50 \times 10^{-6}$	$1,581 \times 10^{-3}$
13	$3,4 \times 10^{-3}$	$4,30 \times 10^{-6}$	$2,074 \times 10^{-3}$
14	$3,8 \times 10^{-3}$	$3,70 \times 10^{-6}$	$1,924 \times 10^{-3}$
15	$4,0 \times 10^{-3}$	$6,50 \times 10^{-6}$	$2,550 \times 10^{-3}$
16	$4,2 \times 10^{-3}$	$5,70 \times 10^{-6}$	$2,387 \times 10^{-3}$
17	$4,6 \times 10^{-3}$	$8,30 \times 10^{-6}$	$2,881 \times 10^{-3}$
18	$5,0 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-5}$	$3,162 \times 10^{-3}$
19	$5,4 \times 10^{-3}$	$8,30 \times 10^{-6}$	$2,881 \times 10^{-3}$
20	$5,8 \times 10^{-3}$	$1,02 \times 10^{-5}$	$3,194 \times 10^{-3}$

Для вирішення питання про стабільність розсіювання відхилень порівнювали по черзі кожні дві суміжні вибірки і оцінювали їх розходження за допомогою критерію T_n , наприклад для вибірок № 2 і № 3:

$$T_n = \frac{s_3^2}{s_2^2}. \quad (2.11)$$

Перевірку чи належать вибірки до однієї і тієї ж самої сукупності здійснювали порівнянням отриманих значень критеріїв T_n із табличним значенням T , яке вибирали з [93]. У наших випадках, 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

протилежному випадку, якщо виявляються такі дисперсії вибірок, що різко відрізняються від дисперсій решта вибірок, то вони повинні усуватися при встановленні сумарної точності процесу оброблення.

Результати обчислень критерію T_n , для оцінювання стабільності розсіювання відхилень та їх розходження подано в табл. 2.3. У даному випадку аналізом не виявлено різко відмінних дисперсій.

Таблиця 2.3 – Результати порівняння вибірових дисперсій у вибірових середніх

№ порівнюваних вибірок	T_n	t	$P(t \geq t_1)$
1 – 2	1,500	0,566	0,585
2 – 3	1,000	0,516	0,625
3 – 4	2,333	0,400	0,700
4 – 5	1,429	0,307	0,765
5 – 6	1,300	0,528	0,615
6 – 7	1,000	0,248	0,828
7 – 8	1,308	0,693	0,515
8 – 9	0,765	0,231	0,837
9 – 10	1,769	0,211	0,840
10 – 11	0,957	0,189	0,855
11 – 12	1,136	0,185	0,850
12 – 13	1,720	0,307	0,765
13 – 14	0,860	0,283	0,780
14 – 15	1,757	0,125	0,904
15 – 16	0,872	0,115	0,915
16 – 17	1,456	0,214	0,839
17 – 18	1,205	0,187	0,853
18 – 19	0,830	0,187	0,853
19 – 20	1,229	0,186	0,851

Для встановлення сумарної точності процесу обчислювали спочатку оцінку точності σ_0 всієї сукупності, з якої брались вибірки згідно [93]:

$$\sigma_0 = \frac{s}{H_n} = \frac{\sum_{i=1}^m s_i}{H_n m}, \quad (2.12)$$

де H_n – коефіцієнт, що вибирається відповідно до об'єму вибірки відповідно до табличних даних згідно [93],

\bar{s} – середнє квадратичне відхилення вибірок, дисперсії яких пройшли перевірку згідно критерію T_n ,

m – число вибірок, які пройшли перевірку згідно критерію T_n .

Отже, для оброблення периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи матимемо:

$$\sigma_{оп} = \frac{0,033}{0,96 \times 20} = 1,719 \times 10^{-3}. \quad (2.13)$$

Для оцінки стабільності настройки процесу оброблення порівнювали два суміжних середніх значень вибірок, наприклад для вибірок № 2 і № 3:

$$t = \frac{|\bar{X}_2 - \bar{X}_3|}{\sqrt{n_2 s_2^2 + n_3 s_3^2}} \sqrt{\frac{n_2 n_3 (n_2 + n_3 - 2)}{n_2 + n_3}} \quad (2.14)$$

Аналогічно обчисливши для всіх суміжних середніх значень вибірок і згідно таблиці ймовірностей розподілу Стюдента $P(|t| \geq t_1)$ при $k = n_i + n_{i+1} - 2 = 8$ для кожного значення t знаходили табличне значення $P(|t| \geq t_1)$ з [93]. В табл. 2.4 подано результати таких обчислень.

Оцінка дисперсій у вибіркових середніх здійснюється так. Якщо поміж середніми значеннями вибірок є такі, що мають різко відмінні дисперсії та розсіювання, то вони виключаються з множини по якій обчислюють центр розподілу всієї сукупності даних вибірок.

Центр розподілу всієї сукупності встановлювали згідно відомої формули [93]:

$$\bar{X}_0 = \frac{\sum \bar{X}_i}{\bar{m}}. \quad (2.15)$$

Оцінкою дисперсій у вибіркових середніх поданих у табл. 2.3 встановлено, 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 для периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи згідно (2.15):

$$\bar{X}_{0_{n}} = \frac{0,055}{20} = 2,760 \times 10^{-3}. \quad (2.16)$$

Сумарна точність процесу точіння та точність налагодження

$$\mu = \frac{6\sigma_0}{\delta}, \quad (2.17)$$

де δ – допуск на відхилення діаметру бігової доріжки згідно креслення.

Для нашого випадку:

$$\mu = \frac{6 \times 1,719 \times 10^{-3}}{0,04} = 0,258. \quad (2.18)$$

Позначивши через \bar{D} – середнє арифметичне значення діаметру периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи в партії лап, а через D_c – середній розмір діаметру згідно креслення, отримали:

$$\bar{D} = 49,6 - 2,76 \times 10^{-3} = 49,597 \text{ мм},$$

$$D_c = \frac{49,6 + 49,56}{2} = 49,58 \text{ мм},$$

Коефіцієнт точності налагодження процесу точіння

$$e = \frac{\bar{D} - D_c}{\delta} = 0,425. \quad (2.19)$$

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

Аналізом шорсткості на оброблених поверхнях цапф лап встановлено, що процес забезпечує сталість заданого значення шорсткості, яке у середньому (на 20 шт у партії) рівне $R_a 0,25$ мкм при максимумі $R_a 0,32$ мкм. Зауважимо, що конусність поверхонь периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи також має стале середнє значення 0,01 мм при максимумі 0,02 мм. Також аналізом співвідношення між великою, малою опорами ковзання та кульковою біговою доріжкою зафіксовано стале середнє значення 0,01 мм при максимумі 0,03 мм. Зауважимо, що верстат SPV 40 CNC проти верстата TV650/4 дає високу

стабільність отримання якості конструкторських параметрів цапф лап. Функціональні можливості та технологічні показники верстата SPV 40 CNC забезпечують автоматизацію балансування верстатного пристрою. Зокрема, за допомогою балансуючого пристрою CX Balancer можна досягнути мінімальних відхилень у співвідношенні між елементами опори.

2.5 Технологічне забезпечення якості механічного оброблення радіальних опорних поверхонь шарошок тришарошкових бурових доліт

Оскільки найбільші проблеми у забезпеченні точності як правило виникають на великих типорозмірах шарошок доліт то дослідження проводили на шарошках долота $\varnothing 444,5\text{мм}$ [3]. 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.

Отже, в процесі обмірювань дослідної партії шарошок після досліджуваного точіння в кінцевий розмір великої роликової бігової доріжки $\varnothing 154,49^{+0.1}\text{мм}$ встановлені відхилення подані на рис. 2.6 [12].

Обчислені значення середнього арифметичного \bar{X}_i , дисперсії s_i^2 , середнього квадратичного відхилення s_i для кожної вибірки подано в табл. 2.47.

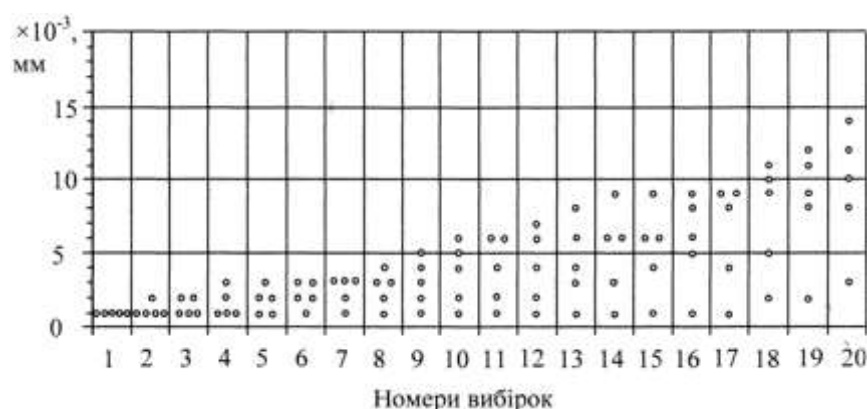


Рисунок 2.6 – Точкова діаграма розсіювання відхилень діаметрів великої роликової бігової доріжки шарошки після досліджуваного кінцевого точіння в розмір $\varnothing 154,49^{+0.1}\text{мм}$.

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 $T = 6,39$.

Таблиця 2.4 – Результати статистичних обчислень для оцінки відхилення діаметрів великих роликових 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	$9,4 \times 10^{-3}$	$17,8 \times 10^{-6}$	$4,219 \times 10^{-3}$

Оцінка точності σ_0 всієї сукупності, з якої брались вибірки для процесу точіння досліджуваної бігової доріжки згідно (2.12) матимемо:

$$\sigma_0 = \frac{0,041}{0,96 \times 20} = 2,135 \times 10^{-3}. \quad (2.20)$$

В табл. 2.5 подано результати обчислень для оцінки стабільності налагодження процесу оброблення: значення t , отримані за формулою (2.14), а також відповідні їм табличні значення ймовірностей за розподілом Стьюдента $P(|t| \geq t_1)$.

Таблиця 2.5 – Результати порівняння вибірових дисперсій у вибірових середніх

№ порівнюваних вибірок	T_n	t	$P(t \geq t_1)$
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	1,000	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

Оцінка дисперсій у вибірових середніх показує (табл. 2.5), що поміж середніми значеннями вибірок немає різко відмінних дисперсій та розсіювання. Тобто, у даному випадку всі середні значення вибірок беруться для оцінки центру розподілу всієї сукупності даних вибірок.

Статистичному оцінюванню динаміки зміни точності процесу оброблення і його налагодженості в часі підлягали оброблені поверхні бігових доріжок підшипників кочення цапф лап та порожнин шарошок доліт, а також опор периферійного підшипника цапф лап бурового долота з герметизованою опорою.

Статистичне оцінювання отриманих результатів експериментів здійснювали методом малих вибірок, оскільки він дозволяє відслідкувати динаміку зміни

точності процесу оброблення і його налагодженості в часі. При плануванні експериментів у всіх випадках об'єм вибірки становив $n = 5$ шт, кількість вибірок $m = 20$. За відомими формулами [93] для кожної вибірки обчислено: середнє арифметичне \bar{X}_i , дисперсія s_i^2 , середнє квадратичне відхилення s_i .

Для вирішення питання про стабільність розсіювання відхилень порівнювали по черзі кожні дві суміжні вибірки і оцінювали їхнє розходження за допомогою критерію T_n , наприклад для вибірок № 2 і № 3 [93]:

$$T_n = \frac{s_3^2}{s_2^2}. \quad (2.21)$$

Належать вибірки до однієї і тієї ж самої сукупності здійснювали порівнянням отриманих значень критеріїв T_n із табличним значенням T , яке вибирали з [93]. У наших випадках, 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 протилежному випадку, якщо виявляються такі дисперсії вибірок, що різко відрізняються від дисперсій решта вибірок, то вони повинні усуватися при встановленні сумарної точності процесу оброблення.

Для встановлення сумарної точності процесу обчислювали спочатку оцінку точності σ_0 всієї сукупності, з якої брались вибірки згідно [93]:

$$\sigma_0 = \frac{\bar{s}}{H_n} = \frac{\sum_{i=1}^m s_i}{H_n m}, \quad (2.22)$$

де H_n – коефіцієнт, що вибирається відповідно до об'єму вибірки відповідно до табличних даних згідно [93],

\bar{s} – середнє квадратичне відхилення вибірок, дисперсії яких пройшли перевірку згідно критерію T_n ,

m – число вибірок, які пройшли перевірку згідно критерію T_n .

Для оцінки стабільності настройки процесу оброблення порівнювали два суміжних середніх значень вибірок, наприклад для вибірок № 2 і № 3:

$$t = \frac{|\bar{X}_2 - \bar{X}_3|}{\sqrt{n_2 s_2^2 + n_3 s_3^2}} \sqrt{\frac{n_2 n_3 (n_2 + n_3 - 2)}{n_2 + n_3}} \quad (2.23)$$

Аналогічно обчисливши для всіх суміжних середніх значень вибірок і згідно таблиці ймовірностей розподілу Стьюдента $P(|t| \geq t_1)$ при $k = n_i + n_{i+1} - 2 = 8$ для кожного значення t знаходили табличне значення $P(|t| \geq t_1)$ з [93].

Оцінка дисперсій у вибіркових середніх здійснюється так. Якщо поміж середніми значеннями вибірок є такі, що мають різко відмінні дисперсії та розсіювання, то вони виключаються з множини по якій обчислюють центр розподілу всієї сукупності даних вибірок.

Центр розподілу всієї сукупності встановлювали згідно відомої формули [93]:

$$\bar{X}_0 = \frac{\sum \bar{X}_i}{m}. \quad (2.24)$$

Сумарна точність процесу точіння та точність налагодження:

$$\mu = \frac{6\sigma_0}{\delta}, \quad (2.25)$$

де δ – допуск на відхилення діаметру бігової доріжки згідно креслення.

Коефіцієнт точності налагодження процесу точіння

$$e = \frac{\bar{D} - D_c}{\delta}, \quad (2.26)$$

де \bar{D} – середнє арифметичне значення діаметру в дослідній партії,

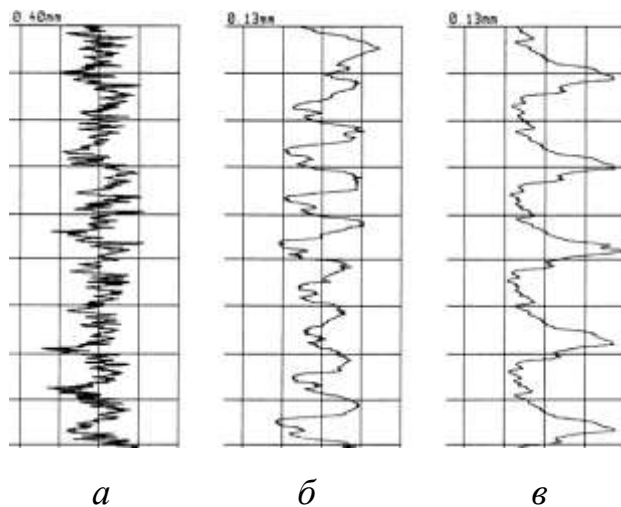
D_c – середній розмір діаметру згідно креслення.

Якщо справджується $\mu < 1$, то сумарна точність процесів є достатньою, при цьому забезпечується необхідна точність процесу оброблення. У іншому випадку точність є недостатня.

Оцінка шорсткості на оброблених поверхнях бігових доріжок шарошок оброблених в автоматизованому режимі (рис. 2.7) засвідчила, що вибрана технологія механічного оброблення забезпечує задану високу якість конструкторських параметрів. Тут не помічено відхилень по циліндричності та круглості.

Аналізом встановлено [3], що за умов використання високоточного метало-різального обладнання з ЧПК для обточування опорних циліндричних поверхонь навіть великих типорозмірів доліт, фіксуються незначні похибки: Δ_e , Δ_H , Δ_y .

Зокрема, за даними розрахунків викладених в [3] встановлено значення похибок токарного оброблення великої роликової бігової доріжки $\text{Ø}153,73^{+0,25}$ шарошки бурового долота РТБ-490 ТЗ (додаток Б) і побудовано теоретичну діаграму розточування внутрішньої циліндричної поверхні (рис. 2.8).



a – мала роликова бігова доріжка підшипника кочення – $R_a 0,328$ мкм,
б – кулькова бігова доріжка замкового підшипника кочення – $R_a 0,516$ мкм,
в – велика роликова бігова доріжка підшипника кочення – $R_a 1,249$ мкм

Рисунок 2.7 – Профілограми шорсткості бігових доріжок шарошок бурових доліт оброблених на вертикальному одношпindelному токарному центрі VSC виробництва фірми „EMAG” [12]

Аналізом отриманих даних, зведених у гістограму похибок оброблення (рис. 2.9), встановлено, що домінуючою похибкою оброблення є похибка від розмірного спрацювання інструмента. Для підвищення точності оброблення слід застосовувати ефективні мастильно-охолоджуючі речовини (МОР), а також інструмент з вищою зносостійкістю.

Вибір різального інструмента, ефективність якого залежить від зносостійкості та конструкційної відповідності до оброблюваної поверхні, визначає величину систематичної похибки ($\Delta_{cist.}$). Зауважимо, що різальний інструмент з пластинками Т15К6 не забезпечує ефективну стійкість при різанні шарошок бурових доліт. Наприклад при величині економічної стійкості різця $T_e = 95$ хв. питомий вклад похибки Δ_e становить 96,5% [3], тому слід комплексно підбирати

і застосовувати високоточні верстати й оброблювальні центри та зносостійкий інструмент.

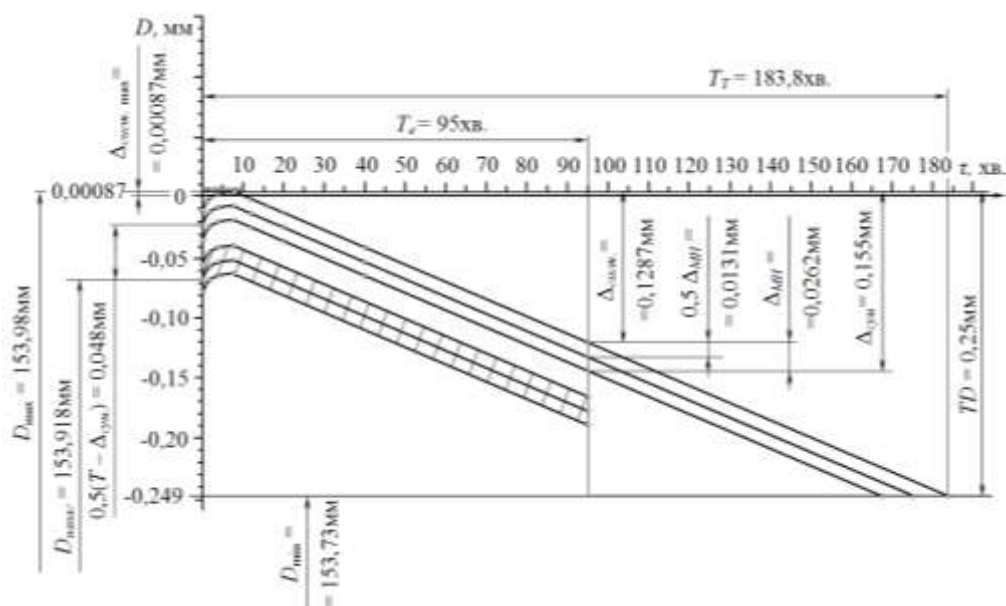


Рисунок 2.8 – Теоретична діаграма точності оброблення роликної бігової доріжки $\text{Ø}153,73^{+0,25}$ шарошки бурового долота [3]

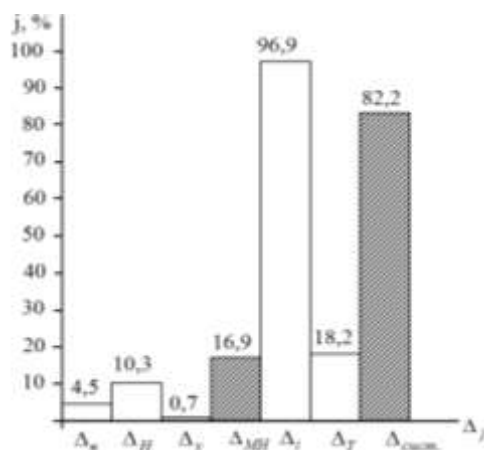


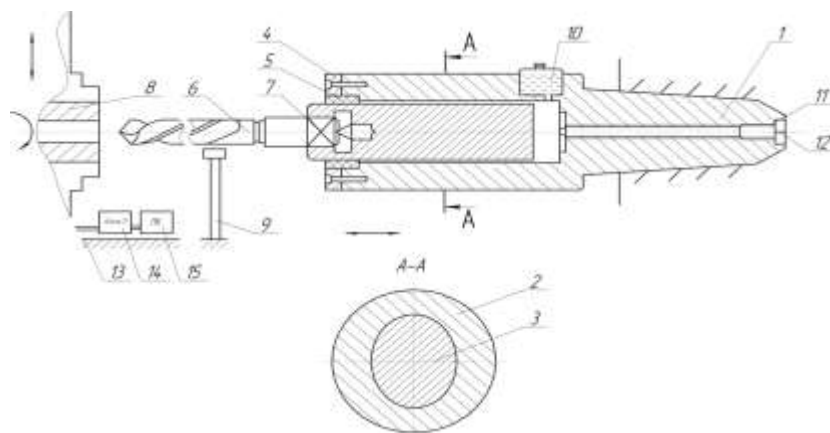
Рисунок 2.9 – Гістограма похибок токарного оброблення бігової доріжки $\text{Ø}153,73^{+0,25}$ шарошки долота [3]

2.6 Дослідження конструктивних параметрів інструментів для свердління отворів в шарощі

Свердлильні пристрої типу патронів мають значну сферу застосування у сучасному машинобудуванні в процесах механічної обробки деталей, а саме у

свердильних операціях. Як правило для цього застосовуються стандартні пристрої без підвищених вимог щодо точності обробки. Проте при розробці нових затискних пристроїв доцільно забезпечувати розширення їх технологічних можливостей і підвищення чутливості системи і точності замірів процесів свердління отворів.

Як приклад затискного пристрою із розширеними технологічними можливостями можна навести розроблену конструкцію експериментального патрону для свердління отворів [94] (рис.2.10).



1 – ступінчатий корпус; 2 – еліпсний отвір корпуса; 3 – еліпсна оправка; 4 – кришка; 5 – еліпсне ущільнення; 6 – свердло; 7 – квадратний отвір; 8 – заготовка; 9 – упор - перемикач; 10 – ємкість для масла; 11 – отвір; 12 – гвинт; 13 – стіл верстата; 14 – пристрій Altivar71; 15 – комп’ютер.

Рисунок 2.10 – Конструкція експериментального патрону для свердління отворів

Оскільки даний пристрій призначений для високоточних операцій то на точність обробки, зокрема на довжину свердління, можуть впливати поздовжні зміщення еліпсної оправки, які виникають при крученні. Величину поздовжніх зміщень можна визначити з відповідної формули [95]

$$z = \frac{M_{кр} \left[(a/2)^2 - (b/2)^2 \right]}{G\pi(a/2)^3(b/2)^3} xy, \quad (2.27)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент;

a, b – розміри січення еліпсної оправки по осях x і y ;

G – модуль зсуву.

Крутний момент який передає патрон, можна виразити через кут φ закручування еліпсної оправки

$$M_{кр} = GC\varphi, \quad (2.28)$$

де C – жорсткість еліпсної оправки на кручення.

$$C = \pi \frac{(a/2)^3 (b/2)^3}{(a/2)^2 + (b/2)^2}. \quad (2.29)$$

Інший аспект полягає в тому, що корпус патрона можна розглядати як товстостінний циліндр, який зазнає навантаження внутрішнім тиском P , що створюється маслом. З точки зору статки, для забезпечення умови рівноваги, невідомі шукані напруження σ_r і σ_t знаходяться розв'язуванням статично невизначених задач. Рівняння статки має наступний вигляд [96]

$$\sigma_r - \sigma_t + \frac{d\sigma_r}{dr} = 0. \quad (2.30)$$

Для визначення напружень σ_r і σ_t радіальне переміщення довільної точки кільця нашого циліндра з абсцисою r позначимо через u , а приріст цього переміщення за рахунок зміни координати r на величину dr буде du . Тоді відносні лінійні деформації у радіальному ε_r і тангенціальному ε_t напрямках виражаються через переміщення u

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}; \quad \varepsilon_t = \frac{u}{r}. \quad (2.31)$$

Вище наведені вирази визначають геометричні зв'язки задачі. Фізичні аспекти визначаються законом Гука [96] і у нашому випадку для напружень σ_r і σ_t мають наступний вигляд

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{du}{dr} + \mu \frac{u}{r} \right); \quad \sigma_t = \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{u}{r} + \mu \frac{du}{dr} \right), \quad (2.32)$$

де E – модуль пружності;

μ - коефіцієнт Пуассона.

Підставивши вирази для напружень (2.31) у рівняння статки (2.30) отримаємо

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} = 0. \quad (2.33)$$

Розв'язком даного диференціального рівняння другого порядку із змінними коефіцієнтами буде

$$u = c_1 r + \frac{c_2}{r}. \quad (2.34)$$

Шляхом підстановки виразу (2.34) у рівняння (2.32) отримаємо

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{E}{1-\mu^2} \left(c_1(1+\mu) - c_2 \left(\frac{1-\mu}{r^2} \right) \right); \\ \sigma_t &= \frac{E}{1-\mu^2} \left(c_1(1+\mu) + c_2 \left(\frac{1-\mu}{r^2} \right) \right). \end{aligned} \quad (2.35)$$

Сталі інтегрування c_1 і c_2 знаходяться із граничної умови на внутрішньому контурі циліндра $\sigma_r(r) = P$ і $\sigma_t(r) = P$.

Відповідно формули для визначення напружень мають наступний вигляд

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r \\ \sigma_t \end{aligned} \right\} = \frac{P \cdot r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 \pm \frac{r_2^2}{r_1^2} \right), \quad (2.36)$$

де r_1 і r_2 – відповідно внутрішній і зовнішній радіуси корпусу.

Оскільки отвір корпусу є фактично глухим, закритий (заглушений) гвинтом (рис.2.10), то паралельно до осі корпусу діє поздовжня сила F і у поперечних перерізах діють напруження σ_z , які визначаються за формулою

$$\sigma_z = \frac{F}{\pi(r_2^2 - r_1^2)}. \quad (2.37)$$

Напруження σ_r – розтягуючі, σ_t – стискуючі. Максимальні значення цих напружень виникають на внутрішньому контурі і вони рівні

$$\sigma_r = -F; \quad \sigma_t = F \frac{1 + \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2}{1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2}. \quad (2.38)$$

Конструктивно забезпечивши жорсткість патрона можна запобігти подовжньому зміщенню еліпсної оправки, проте з врахуванням перспективи обробки отворів значної довжини необхідно, при проектуванні аналогічних пристроїв, попередньо проводити такого роду розрахунки з метою встановлення можливості забезпечення необхідної точності обробки.

2.7 Дослідження розбиття отворів в процесі їх свердління

Надлишкове розбиття отворів в процесі їх свердління на вертикально-свердлильному верстаті призводить до виникнення браку, тому дослідження цього процесу є важливою задачею. Основними причинами розбиття отворів є:

- 1) недосконалість конструкції інструмента, його ріжучих і направляючих елементів;
- 2) неправильна подача інструменту на початку свердління;
- 3) неправильно вибрані режими різання;
- 4) неоднорідність матеріалу оброблюваної деталі;
- 5) втрата стійкості свердла в процесі різання;
- 6) неоднорідне затуплення ріжучих кромки свердла.

Перші три причини носять систематичний характер і можуть бути легко усунені. Решта причин потребують більш детального вивчення, тому що їх поява носить випадковий характер.

В процесі експериментальних досліджень поперечних січень деталі в місці отвору встановлено існування структурної неоднорідності матеріалу, зокрема його твердості, яка залежить від способу формування заготовки та термохімічної обробки. Поперечна різотвердість заготовки у місці свердління отвору залежить від впливу легуючих елементів, а також від градієнту твердості заготовки вздовж вісі отвору. Чим більший градієнт подовжньої твердості, тим більша поперечна різотвердість заготовки $\Delta HRC = HRC_1 - HRC_2$, де HRC_1 , HRC_2 - відповідно найбільша і найменша твердість заготовки на одній площині, що перпендикулярна вісі отвору.

Вказані вище причини призводять до виникнення неврівноваженої радіальної сили різання ΔP_y , що підсилюється дією осьової сили різання P_o . В наслідок чого відбуваються пружні деформації осі свердла та розбиття оброблюваного отвору.

Також причиною виникнення радіальної сили ΔP_y є несиметричне заточування різальних кромки інструмента [97]:

$$\Delta P_y = \frac{0,5P_o}{1,03 \frac{k_{\gamma 1}}{k_{\gamma 2}} + 1} \left(0,629 - 0,5947 \frac{k_{\gamma 1}}{k_{\gamma 2}} \right), \quad (2.39)$$

де P_o – осьова сила різання, Н;

$k_{\gamma 1}$, $k_{\gamma 2}$ - коефіцієнти, які враховують вплив переднього кута різальних кромки на радіальну силу.

Оскільки радіальної сили різання ΔP_y прямо пропорційно залежить від поперечної різотвердості заготовки в зоні різання, пропонуємо рівняння (2.39) доповнити доданком $k_{HRC} \cdot \Delta HRC$, де k_{HRC} - коефіцієнт, що враховує залежність сили різання від твердості матеріалу, тому рівняння (2.39) записуємо наступним чином:

$$\Delta P_y = \frac{0,5P_o}{1,03 \frac{k_{\gamma 1}}{k_{\gamma 2}} + 1} \left(0,629 - 0,5947 \frac{k_{\gamma 1}}{k_{\gamma 2}} \right) + k_{HRC} \cdot \Delta HRC. \quad (2.40)$$

Отже, найсуттєвіший вплив на точність отвору мають фактори, що діють в площині, яка перпендикулярна осі інструмента.

В процесі розрахунків приймаємо жорсткість шпинделя, патрона, заготовки і кондуктора набагато більшою ніж жорсткість свердла, тому вібрації у цих елементах не враховані. Радіальні переміщення свердла визначаємо із аналізу деформацій пружної системи, представлені на рисунку 2.11. Різучі кромки опираються на поверхню різання, а направляючі стрічки – на оброблену

поверхню. Розглянемо в першому наближенні статичні деформації свердла, а потім динамічні коливання свердла.

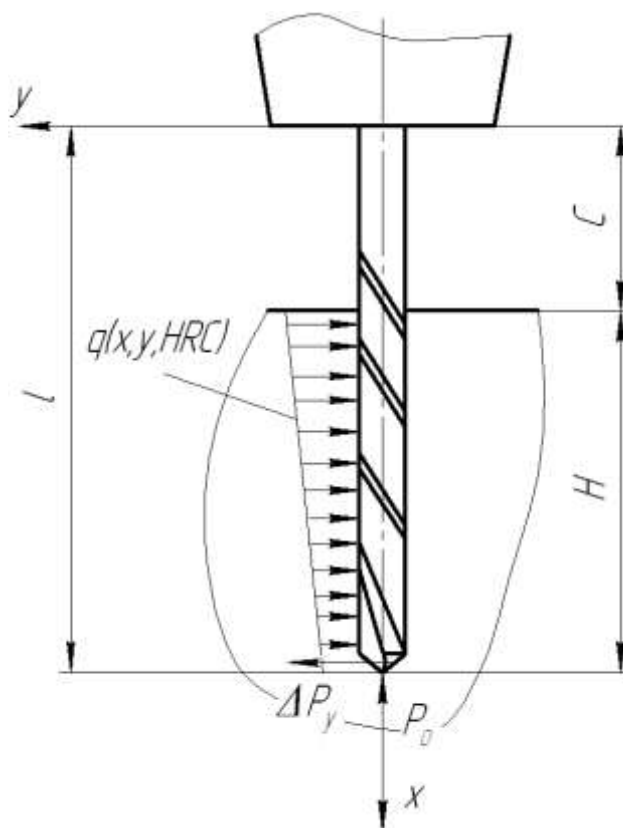


Рис. 2.11 – Розрахункова схема для визначення деформації свердла

Твердість матеріалу заготовки змінна по всій довжині оброблюваного отвору в напрямку осі x :

$$HRC(x) = \frac{(HRC_{\max} - HRC_{\min}) \cdot (H - (x + C))}{H} + HRC_{\min}, \quad (2.41)$$

де HRC_{\max} - максимальна твердість поверхні оброблюваного отвору вздовж вісі x ;

HRC_{\min} - мінімальна твердість поверхні оброблюваного отвору вздовж вісі x ;

H – глибина отвору, мм;

C – вільна частина свердла, мм.

Приймаємо опір деформації поверхні отвору прямопропорційним твердості матеріалу та величині його деформації разом із свердлом:

$$q(HRC, y, x) = k_1 HRC(x) \cdot k_2 y, \quad (2.42)$$

де k_1 - коефіцієнт, який враховує вплив твердості матеріалу поверхні отвору на його опір деформації;

k_2 - коефіцієнт, який враховує опір деформації матеріалу поверхні отвору, Н/мм².

Для свердла при статичному навантаженні диференціальне рівняння пружної лінії деформації має наступний вигляд:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M(x) - P_o \cdot y, \quad (2.43)$$

де E – модуль пружності матеріалу свердла, МПа;

I – момент інерції поперечного перерізу свердла в робочій частині, мм⁴;

$M(x)$ - момент згину, Н·мм.

Момент згину визначаємо за формулою:

$$M(x) = \int_x^l Q(x) dx + M(0), \quad (2.44)$$

де $Q(x)$ - перерізуючі зусилля, Н;

$M(0)=0$ – момент згину в початковому перерізі, Н·мм.

Перерізуючі зусилля визначаємо із рівняння:

$$Q(x) = \Delta P_y - \int_x^l q(HRC, y, x) dx, \quad (2.45)$$

де l – довжина свердла, мм;

Підставляючи рівняння (2.45) та (2.44) в рівняння (2.43), враховуючи формули (2.41) і (2.42), одержуємо:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = \int_x^l \Delta P_y dx - \int_x^l \int_x^l \left(k_1 \left(\frac{(HRC_{\max} - HRC_{\min}) \cdot (H - (x + C))}{H} + HRC_{\min} \right) \cdot k_2 y \right) dx dx - P_0 y. \quad (2.46)$$

Після інтегрування рівняння (2.46) одержуємо:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = - \left[\frac{k_1 k_2 y}{2H} (l \cdot (l - x) \cdot (-HRC_{\max} (2H - l + 2c) - HRC_{\min} (l - 2c)) + \frac{1}{3} (-l^2 + x^2) \times \right. \\ \left. \times (-HRC_{\min} (-l + x) - HRC_{\max} (l - x)) \right] - P_0 y + \Delta P_y (l - x). \quad (2.47)$$

Враховуючи рівняння (2.40), одержуємо:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = - \left[\frac{k_1 k_2 y}{2H} (l \cdot (l - x) \cdot (-HRC_{\max} (2H - l + 2c) - HRC_{\min} (l - 2c)) + \frac{1}{3} (-l^2 + x^2) \times \right. \\ \left. \times (-HRC_{\min} (-l + x) - HRC_{\max} (l - x)) \right] - P_0 y + \\ + \left(\frac{0,5 P_0}{1,03 \frac{k_{\gamma 1}}{k_{\gamma 2}} + 1} \left(0,629 - 0,5947 \frac{k_{\gamma 1}}{k_{\gamma 2}} \right) + k_{HRC} \cdot \Delta HRC \right) (l - x). \quad (2.48)$$

Диференціальне рівняння (2.48) описує деформацію свердла при статичних навантаженнях.

Загальний розв'язок диференціального рівняння (2.48) має вигляд:

$$y = C_1 \sin(kx) + C_2 \cos(kx) + y^*, \quad (2.49)$$

де C_1, C_2 – коефіцієнти, які визначаються із початкових умов, мм;

y^* - частковий розв'язок рівняння;

k – частотна характеристика.

Початкові умови для розв'язку рівняння (2.48) наступні при $x=0, y=0,$

$$\frac{dy}{dx} = 0.$$

Частотна характеристика рівняння (2.49):

$$k = \sqrt{\frac{1}{EI} \left(P_0 + \frac{k_1 k_2 l^3 HRC_{\max}}{2H} \right)}. \quad (2.50)$$

Оскільки диференціальне рівняння (2.48) є досить складним, проводимо його точний розв'язок за допомогою числового методу. Результати розв'язку представлено у вигляді графіків на рис. 2.12, 2.13, 2.14.

Реальне значення величин розбиття отворів в процесі їх свердління є вищими внаслідок виникнення динамічних навантажень. Оскільки частота обертання свердла є набагато нижчою за частоту власних коливань свердла і ймовірність виникнення резонансу є незначною, реальне значення величини розбиття отвору в процесі його свердління визначається добутком величини розбиття отвору при статичних розрахунках на коефіцієнт динамічності: $y_r = y \cdot k_d$.

Із графіків на рисунку 2.12 робимо висновок, що підвищення твердості оброблюваного матеріалу у поверхневих шарах, та поступове її зменшення в тіло заготовки сприяє зменшенню величини розбиття отворів в процесі їх свердління.

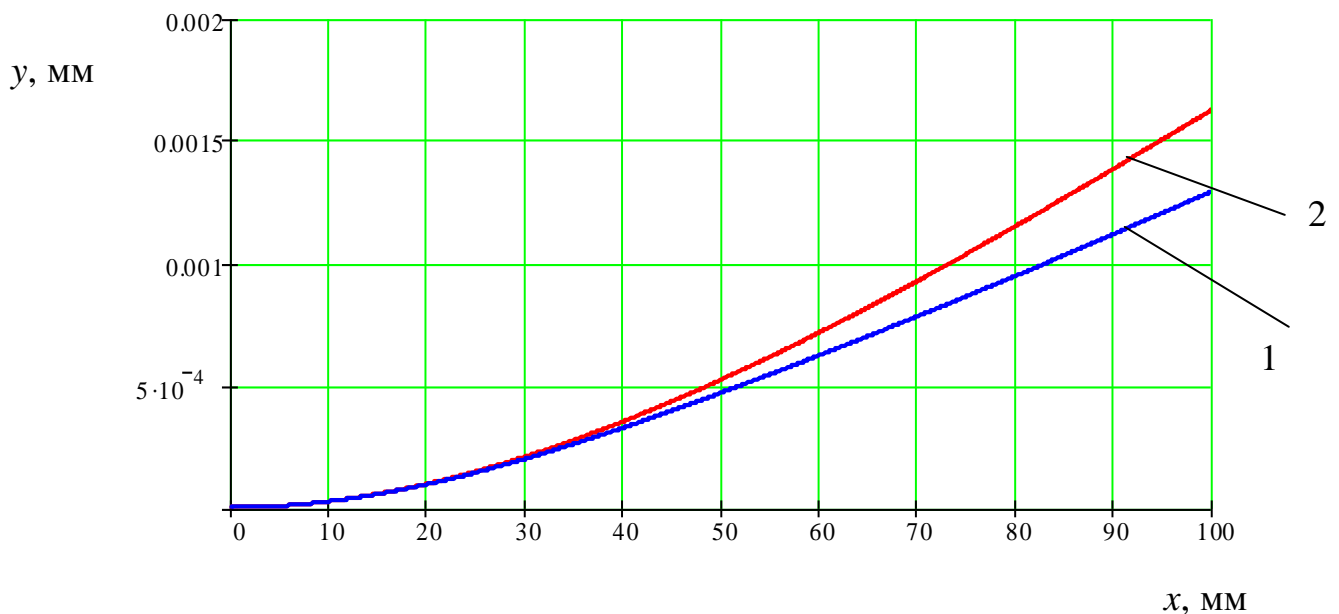


Рис. 2.12 – Графіки залежності величини розбиття отворів в процесі їх свердління свердлом діаметром 10 мм, довжиною $l=100$ мм в сталі:

$$1) HRC_{\max} = 43, HRC_{\min} = 35; 2) HRC_{\max} = 38, HRC_{\min} = 35$$

Із рисунка 2.13 можна побачити, що збільшення довжини свердла l призводить до зростання величини розбиття отворів.

Збільшення радіальної сили різання ΔP_y суттєво впливає на величину розбиття отвору, що можна побачити із графіків на рисунку 2.14.

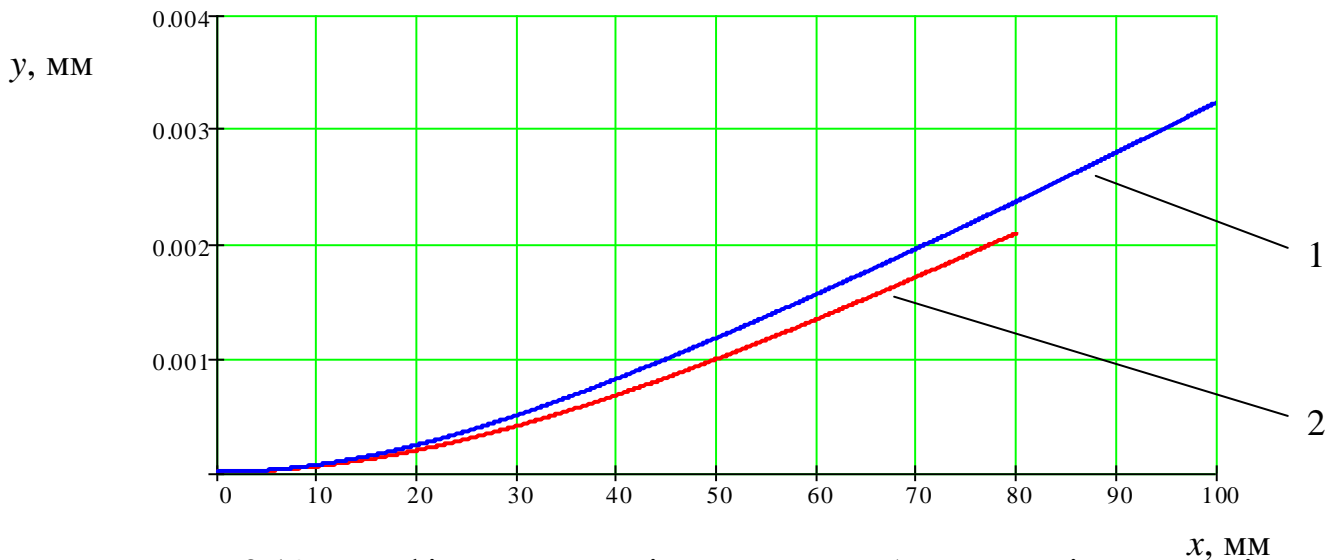


Рис. 2.13 – Графіки залежності величини розбиття отворів в процесі їх свердління свердлом діаметром 10 мм, $HRC_{\max} = 43$, $HRC_{\min} = 35$ в сталі:

1) $l=100$ мм 2) $l=80$ мм

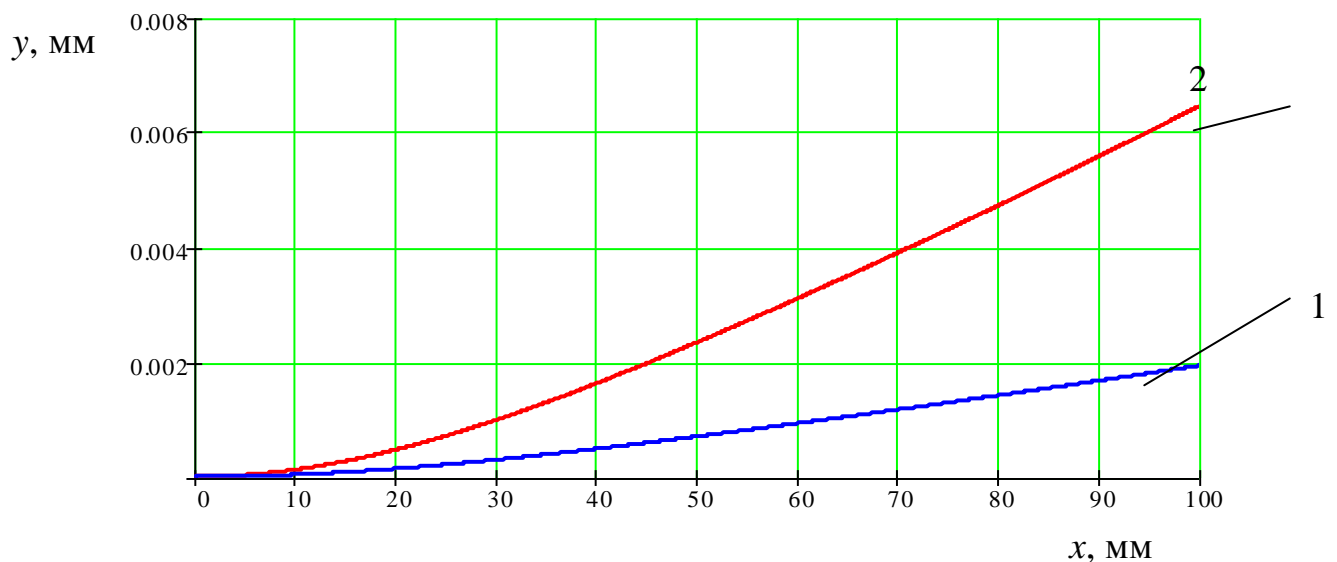


Рис. 2.14 – Графіки залежності величини розбиття отворів в процесі їх свердління свердлом діаметром 10 мм, $HRC_{\max} = 43$, $HRC_{\min} = 35$, $l=100$ мм

в сталі: 1) $\Delta P_y = 3$ Н; 2) $\Delta P_y = 10$ Н

В процесі експериментальних досліджень встановлено, що динамічні характеристики процесу свердління також мають вплив на величину розбиття отвору, тобто є доцільним дослідження поперечних коливань свердла. З цією метою виділимо із свердла малий елемент довжиною dx (рис. 2.15), що обертається навколо вісі x із постійною кутовою частотою обертання ω . При цьому відбувається деформація свердла у площині xOy на величину $y(x,t)$. Площину xOy приймаємо незмінно зв'язаною із площиною максимального прогину свердла.

На рисунку 2.15 використано позначення із попереднього дослідження статичних деформацій свердла, а також позначено Q – перерізує зусилля у перерізі свердла із координатою x , $Q + \frac{\partial Q}{\partial x} dx$ - перерізує зусилля із координатою $x+dx$, θ_1 – кут нахилу, який утворює з віссю Ox дотична до середньої лінії нормальних перерізів свердла з координатою x ; θ_2 – кут нахилу, який утворює з віссю Ox дотична до середньої лінії нормальних перерізів свердла з координатою $x+dx$; dF_i - сила інерції на виділеному елементі свердла.

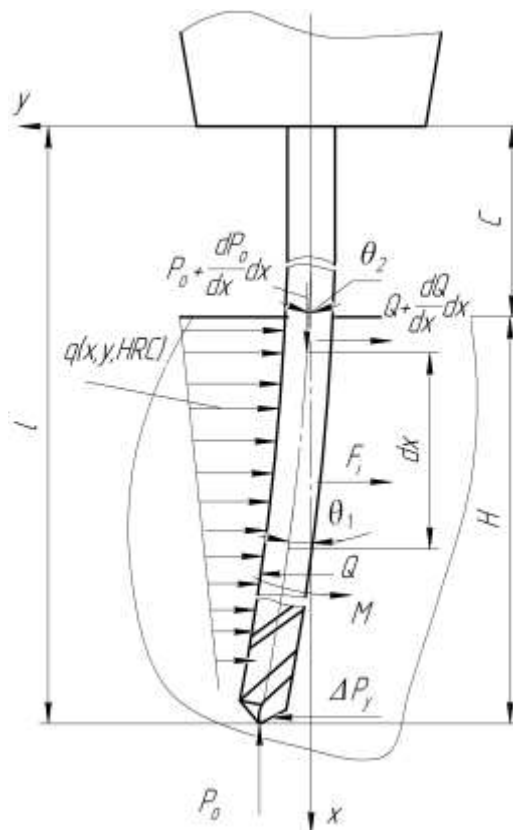


Рис. 2.15 – Розрахункова схема для визначення коливань свердла в процесі свердління отвору

Силу інерції на виділеному елементі свердла визначаємо за формулою:

$$dF_i = \omega^2 y m(x) dx, \quad (2.51)$$

де $m(x)$ - погонна маса свердла вздовж вісі x , кг/мм;

Згідно розрахункової схеми на рис. 2.15 диференціальне рівняння руху елемента свердла довжиною dx має вигляд:

$$-P_0 \sin \theta_1 - \frac{\partial Q}{\partial x} dx + \left(P_0 + \frac{\partial P_0}{\partial x} dx \right) \sin \theta_2 + \omega^2 y m(x) dx + \Delta P_y dx - \int_x^l q(HRC, y, x) dx dx = m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} dx. \quad (2.52)$$

Враховуючи, що для малих коливань елемента свердла $\frac{\partial y}{\partial x}$, θ_1 , θ_2 будуть також малими величинами, має місце співвідношення [98], [99] $\sin \theta_1 = \frac{\partial y}{\partial x}$,

$$\sin \theta_2 = \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx.$$

Підставляючи вищевказані співвідношення у рівняння (2.52) після скорочення на dx , одержуємо:

$$-\frac{\partial Q}{\partial x} + P_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{\partial P_0}{\partial x} \frac{\partial y}{\partial x} + \omega^2 y m(x) + \Delta P_y - \int_x^l q(HRC, y, x) dx = m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (2.53)$$

Зв'язок між перерізуючим зусиллям Q та згинальним моментом M для свердла, що піддається осьовому стиску визначаємо із залежності [99]:

$$Q = \frac{dM}{dx} - P_0 \frac{\partial y}{\partial x}. \quad (2.54)$$

Підставляючи рівняння (2.54) у рівняння (2.53) після перетворень одержуємо:

$$-\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{dM}{dx} - P_0 \frac{\partial y}{\partial x} \right) + P_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{\partial P_0}{\partial x} \frac{\partial y}{\partial x} + \omega^2 y m(x) + \Delta P_y - \int_x^l q(HRC, y, x) dx = m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (2.55)$$

Враховуючи те, що $M = EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$, а також, що $P_0 = \text{const}$, після перетворень рівняння (2.55) одержимо:

$$-EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + P_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \omega^2 y m(x) + \Delta P_y - \int_x^l q(HRC, y, x) dx = m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}; \quad (2.56)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{EI}{m(x)} \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - \frac{P_0}{m(x)} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \omega^2 y = \frac{\Delta P_y}{m(x)} - \frac{\int_x^l q(HRC, y, x) dx}{m(x)}. \quad (2.57)$$

Розв'язок рівняння (2.57) будемо проводити поєднанням методів розділення змінних (метод Фур'є) [100] та чисельного методу Рунге-Кутта.

Рівняння (2.57) задовольняє однорідні граничні умови: $y(0, t) = 0$; $y(\mu l, t) = 0$ та початкові умови: $y(x, 0) = 0$; $y'(x, 0) = \omega R$, де R – радіус свердла, μ – коефіцієнт довжини, що залежить від способу закріплення свердла [101], при цьому добуток μl – приведена довжина свердла. Для свердла із однією вільною стороною і однією закріпленою $\mu = 2$ [101].

Представимо розв'язок рівняння (2.57) у вигляді добутку

$$y(x, t) = X(x)T(t), \quad (2.58)$$

де $X(x)$ – функція тільки змінної x ;

$T(t)$ – функція тільки змінної t .

Підставляємо рівняння (2.58) в рівняння (2.57) та одержуємо:

$$T''(t)X(x) = -\frac{EI}{m(x)} X^{IV}(x)T(t) + \frac{P_0 X''(x)T(t)}{m(x)} + \omega^2 X(x)T(t) + \frac{\Delta P_y X(x)T(t)}{m(x)} - \frac{\int_x^l q(HRC, y, x) dx X(x)T(t)}{m(x)} \quad (2.59)$$

Після ділення рівняння (2.59) на добуток $X(x)T(t)$ одержимо

$$\frac{T''(t)}{T(t)} = -\frac{EI}{m(x)} \frac{X^{IV}(x)}{X(x)} + \frac{P_0 X''(x)}{m(x)X(x)} + \omega^2 + \frac{\Delta P_y}{m(x)} - \frac{\int_x^l q(HRC, y, x) dx}{m(x)}. \quad (2.60)$$

Щоб функція (2.58) була розв'язком рівняння (2.57) рівність (2.60) повинна виконуватись для всіх значень незалежних змінних $0 < x < l$, $t > 0$. Фіксуючи, наприклад значення x і маючи t (або навпаки), одержуємо що права та ліва частини рівності (2.60) при зміні своїх аргументів забезпечує постійне значення:

$$\frac{T''(t)}{T(t)} = -\frac{EI}{m(x)} \frac{X^{IV}(x)}{X(x)} + \frac{P_0 X''(x)}{m(x)X(x)} + \omega^2 + \frac{\Delta P_y}{m(x)} - \frac{\int_x^l q(HRC, y, x) dx}{m(x)} = -\lambda, \quad (2.61)$$

де λ – константа розділення змінних.

Із співвідношень (2.61) після перетворень одержуємо диференціальні рівняння для визначення функцій $X(x)$ та $T(t)$:

$$T''(t) + \lambda T(t) = 0; \quad (2.62)$$

$$-EIX^{IV}(x) + P_0 X''(x) + \omega^2 m(x)X(x) - \int_x^l q(HRC, y, x) dx X(x) + \Delta P_y X(x) + \lambda m(x)X(x) = 0. \quad (2.63)$$

Для знаходження константи λ розв'яжемо задачу Штурма-Ліувілля. Оскільки корені характеристичного рівняння, що відповідає рівнянню (2.62) є уявними $p = \pm i\sqrt{\lambda}$, то загальний розв'язок однорідного диференціального рівняння:

$$T(t) = A_1 e^{i\sqrt{\lambda}t} + A_2 e^{-i\sqrt{\lambda}t} = C_1 \cos(\sqrt{\lambda}t) + C_2 \sin(\sqrt{\lambda}t), \quad (2.64)$$

де A_1, A_2, C_1, C_2 – сталі інтегрування, що визначаються із початкових умов.

Враховуючи граничні і початкові умови, одержуємо $C_1 = 0$.

Знаходимо похідну рівняння (2.64):

$$T'(t) = \sqrt{\lambda} \left(-C_1 \sin(\sqrt{\lambda}t) + C_2 \cos(\sqrt{\lambda}t) \right). \quad (2.65)$$

Оскільки на приведеній довжині свердла у будь-який час не відбувається деформації свердла і функція $y(x,t)=0$, то із рівняння (2.65) для часу

$$t = \frac{\mu l}{\omega R}, \quad T'(t) = 0. \quad (2.66)$$

Тому

$$C_2 \cos(\sqrt{\lambda} t) = 0. \quad (2.67)$$

Для нетривіального розв'язку диференціального рівняння $C_2 \neq 0$, тому враховуючи рівняння (2.66):

$$\cos(\sqrt{\lambda} t) = 0, \quad (2.68)$$

звідки

$$\sqrt{\lambda} = \frac{\pi}{2t}. \quad (2.69)$$

Підставляючи і рівняння (2.69) дані із рівняння (2.66) одержуємо:

$$\lambda = \frac{\pi^2 \omega^2 R^2}{\mu^2 l^2}. \quad (2.70)$$

Константа C_2 – це прогин свердла в січенні по середині його довжини, що визначається при статичних навантаженнях.

Із врахуванням формули (2.70) рівняння (2.64) набуде вигляду:

$$T(t) = C_2 \cos\left(\frac{\pi \omega R}{\mu l} t\right). \quad (2.71)$$

Проведемо розв'язок рівняння (2.63), провівши попередні перетворення із врахуванням наступного. Маса свердла:

$$m(x) = \rho S x, \quad (2.72)$$

де ρ – густина матеріалу свердла, кг/мм^3 ;

S – площа поперечного січення свердла, мм^2 .

Враховуючи формули (2.41) і (2.42), одержимо:

$$\int_x^l q(HRC, y, x) dx = \frac{k_1 k_2 y}{2H} [-l(HRC_{\max}(-2H + l + 2C) - HRC_{\min}(l + c)) + x(HRC_{\max}(-2H + x + 2c) - HRC_{\min}(x + c))] \quad (2.73)$$

Тоді, підставивши формули (2.70), (2.72) та (2.73) у рівняння (2.63), одержуємо:

$$-EIX^{IV}(x) + P_0 X''(x) + \left(\omega^2 + \frac{\pi^2 \omega^2 R^2}{\mu^2 l^2} \right) \rho S x X(x) + \Delta P_y x - \frac{k_1 k_2 y}{2H} \times [-l(HRC_{\max}(-2H + l + 2C) - HRC_{\min}(l + c)) + x(HRC_{\max}(-2H + x + 2c) - HRC_{\min}(x + c))] = 0. \quad (2.74)$$

Розв'язок диференціального рівняння (2.74) проведемо чисельним методом із наступними початковими умовами: при $x=0$, $X(x)=0$, $X(\mu l)=0$, $X' = 0$, $X'' = 0$.

Результати розв'язку для функції $X(x)$ представлено на рисунку 2.16 у вигляді графіка.

Загальний розв'язок рівняння $y(x, t) = X(x)T(t)$ для визначення величина розбиття отвору в часі представлено у вигляді графіка на рис. 2.17.

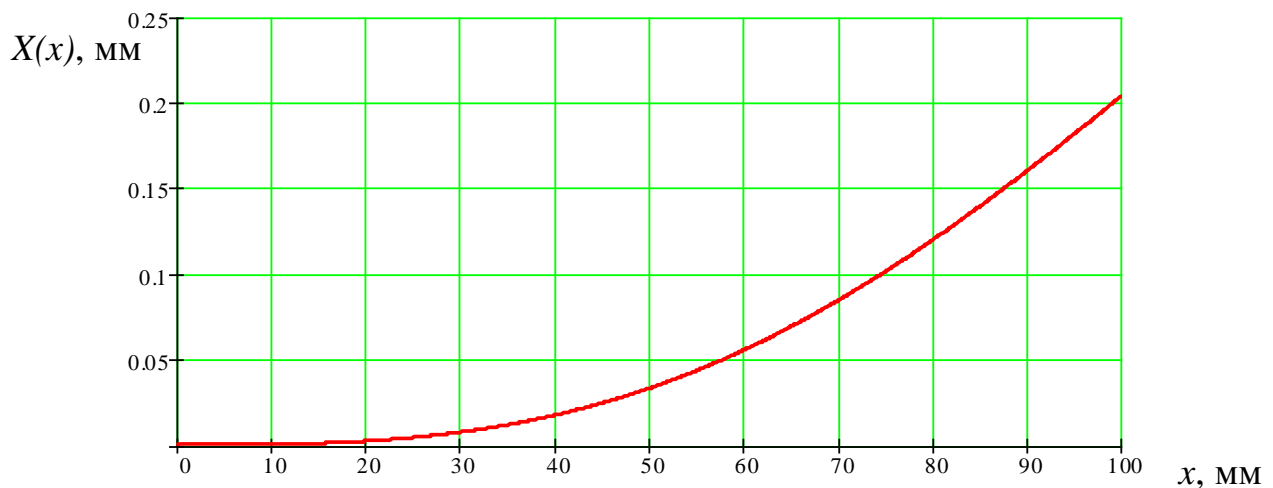


Рис. 2.16 - Графіки залежності функції $X(x)$ для визначення величини розбиття отворів в процесі їх свердління свердлом діаметром 10 мм, $HRC_{\max} = 43$, $HRC_{\min} = 35$, $l=100$ мм в сталі $\Delta P_y = 3$ Н.

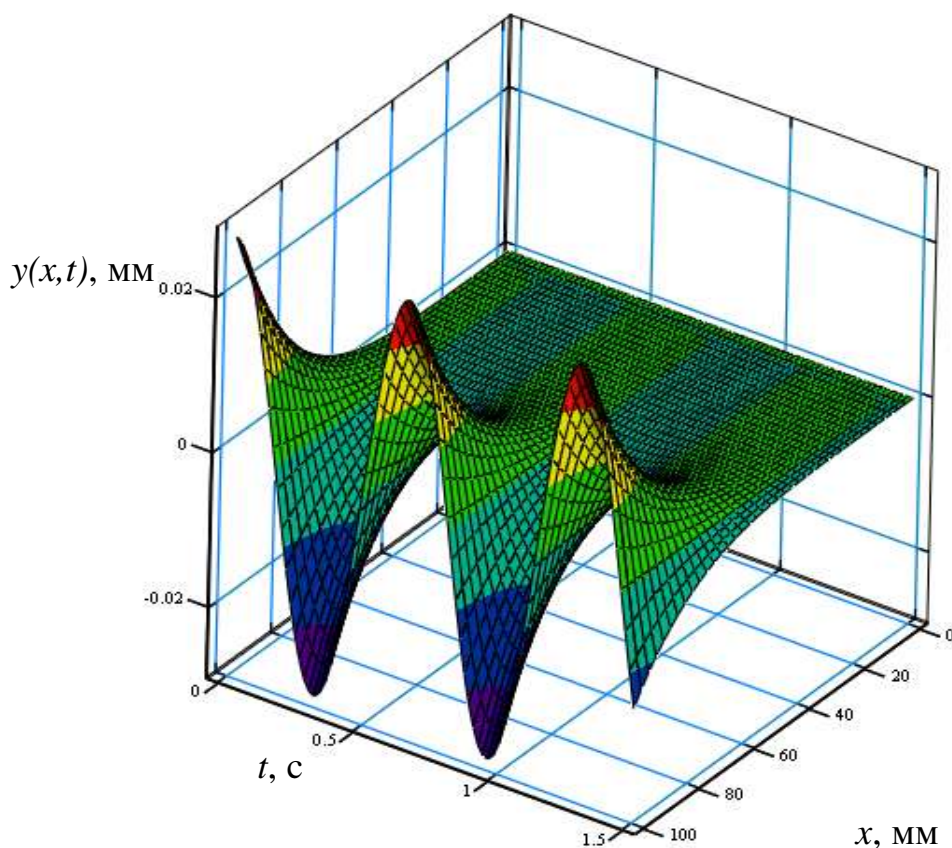


Рис. 2.17 - Графік зміни деформації середньої лінії свердла та величини розбиття отвору в часі при свердлінні свердлом діаметром 10 мм, $HRC_{\max} = 43$, $HRC_{\min} = 35$, $l=100$ мм в сталі, $\Delta P_y = 3$ Н

2.8 Висновки

1. Основним напрямком досліджень даної дисертаційної роботи є визначення методів конструкторсько-технологічного забезпечення якості деталей і бурового долота в цілому. Підвищення його якості шукається шляхом вдосконалення існуючої технології виготовлення тришарошкових бурових доліт з комплексним розв'язанням проектних та конструкторсько-технологічних задач що включає розробку ефективних методів забезпечення якості на етапах життєвого циклу таких доліт.

2. Методами вирішення задач дисертаційної роботи є теоретико-експериментальне дослідження впливу конструкторсько-технологічних параметрів тришарошкових бурових доліт на усіх стадіях їхнього створення. При цьому вихід-

ними посиланнями є результати аналізу досвіду проектування, конструювання, виготовлення і випробовування та експлуатації таких доліт.

3. Досліджено точність та сталість в часі механічного токарного оброблення в кінцевий розмір опор ковзання цапф лап герметизованих тришаршкових бурових доліт у єдиному процесі автоматизованого точіння. Запропоновано методику балансування верстатного пристрою, за допомогою балансуючого пристрою CX Balancer, що забезпечує задані показники якості при обробленні опорних поверхонь цапфи лапи наплавлених зносостійким сплавом типу „Stellite”.

4. Аналізом шорсткості на оброблених поверхнях цапф лап встановлено, що процес забезпечує сталість заданого значення шорсткості, яке у середньому (на 20 шт у партії) рівне $R_a 0,25$ мкм при максимумі $R_a 0,32$ мкм. Встановлено, що конусність поверхонь периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи також має стале середнє значення 0,01 мм при максимумі 0,02 мм.

5. Теоретичним аналізом співвідношення між великою, малою опорами ковзання та кульковою біговою доріжкою зафіксовано стале середнє значення 0,01 мм при максимумі 0,03 мм. Виведені аналітичні залежності для визначення силових і точносних параметрів.

6. На основі застосування верстата SPV 40 CNC проти верстата TV650/4 забезпечується вища стабільність отримання якості конструкторських параметрів цапф лап. Функціональні можливості та технологічні показники верстата SPV 40 CNC забезпечують автоматизацію балансування верстатного пристрою для точіння цапфи лапи.

7. Вдосконалено метод побудови оптимального технологічного маршруту, що відрізняється критеріями оптимальності варіанту технологічного процесу з позицій множини конструкторських, технологічних, функціонально-експлуатаційних, економічних показників якості технологічних операцій. Такими критеріями є мінімальний шлях в дереві графу технологічних маршрутів та умова максимального забезпечення показників якості за умов мінімального шляху в цьому ж дереві графу.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ

3.1 Програма та методика експериментальних випробувань і досліджень

Дослідження закономірностей формування якісних фізико-механічних і конструкторських параметрів деталей тришарошкових бурових доліт полягає у виборі та модернізації інженерних методик, які зводяться до вивчення методів підвищення якості таких доліт на етапах їхнього життєвого циклу, планування експериментів та моделювання з метою оптимізації параметрів технологічних процесів, що в цілому повинно забезпечити мобільність в освоєнні долотним виробництвом передових конструкцій бурових доліт та широкої гами їхніх типорозмірів. Дослідження здійснювали на базі ТОВ „УніБурТех” (м. Дрогобич) яке спеціалізується на виготовленні тришарошкових бурових доліт. Дослідження ґрунтуються на проведеному комплексі стандартних лабораторних, стендових та натурних, а також експериментів в цехах. З метою отримання адекватних результатів досліджень застосовано математичне планування експериментів та сучасні методи теорії ймовірності та математичної статистики, висунення та перевірки гіпотез. Математична обробка експериментальних даних, а також математичне моделювання досліджуваних процесів проводились за допомогою програмного пакету MathCAD фірми MathSoft.

Програма випробувань передбачала:

- виготовлення кованок під деталі тришарошкових бурових доліт;
- експериментально дослідити термічну обробку деталей бурових доліт та зразків;
- експериментально дослідити контактні руйнування бігових доріжок опор доліт та механічного оброблення цапф лап;
- розробити методику балансування патронів токарних оброблювальних центрів;

- провести експериментальні дослідження з визначення поверхневої пластичної деформації бігових доріжок, механічного оброблення порожнин та формоутворення отворів у тришарошкових бурових долотах;

- розробити методику симплексної оптимізації параметрів різання для налагодження операцій “свердління отворів в упорному торці підшипника ковзання шарошки”.

3.2 Обладнання та методика виготовлення кованок під деталі тришарошкових бурових доліт

Технологічний процес виготовлення кованок лап чи шарошок починається з нагріву фасованого прокату (рис. 3.1) до температури $1200 \pm 50^\circ\text{C}$, при цьому в камеру печі завантажується не більше 20-25 заготовок. Нагріта заготовка встановлюється за допомогою ковальських кліщів на площину вставок для осадження і фасований прокат осаджується на пресі, що може розвивати зусилля 2500тс.



a

б

a – загальний вигляд нагрітого в печі фасованого прокату,

б – нагрітий фасований прокат що транспортується на операцію кування

Рисунок 3.1 – Фасований прокат нагрітий в пері СВЧ готовий до кування заготовки під лапу

Далі заготовку кладуть у нижню частину вставок штампу для попереднього деформування. Вставки штампу підігріваються і підтримуються при температурі $200-300^\circ\text{C}$. Кінцеве оброблення здійснюється в призматичних вставках (верхня і нижня частина штампу). У процесі штампування гравюра вставок змащується розчином лінгосульфатату технічного марки В загального призначення згідно

ОСТ13-183-83 та гарячої води у співвідношенні 1:10. Окалину з гравюри вставок штампів постійно видаляють струменем стиснутого повітря. Штампування, як правило здійснюють при температурі $1180...900\pm 50^\circ\text{C}$. Після штампування відбувається відрізання облою.

Для експериментального виготовлення деталей доліт з металобрухту долатної сталі (залишки некратного прокату, відпрацьовані долота) литвом виготовляють циліндричні заготовки із застосуванням високотемпературної термомеханічної обробки (ВТМО): здійснюється на кувальному молоті МА4136, в якого вага падаючих частин становить 400кг. Молот забезпечує 130 ударів у хвилину при енергії удару $11\text{кН}\cdot\text{м}$ на заготовку нагріту до температури $1180\pm 50^\circ\text{C}$. Ступінь деформації за кожне обтискання становить $\varepsilon=0,03-0,06$. У загальному ступінь деформації заготовок повинен становити не менше $\varepsilon=40\%$ [6].

При розрахунку заготовки найбільш технологічного діаметру прокату і з метою кращого заповнення штампів матриці й пуансону по довжині, та враховуючи, що сталь по довжині має гіршу плинність ніж по ширині, визначення діаметру прийнято проводити згідно [102]:

$$d_{\text{сер}}^n = 1,13 \sqrt{S_{\text{сер}}} = 1,13 \sqrt{\frac{V_n^n}{l_{\text{заг}}}} = 1,13 \sqrt{\frac{G_{\text{заг}}^n}{\rho_{\text{ст}} l_{\text{заг}}}},$$

де V_n^n – об'єм заготовки прокату лапи, м^3 ; $S_{\text{сер}}$ – середнє значення площі поперечного перерізу прокату, м^2 ; $l_{\text{заг}}$ – довжина заготовки для лапи, м ; $G_{\text{заг}}^n$ – маса заготовки прокату для лапи, кг ; $\rho_{\text{ст}}$ – густина сталі, $7,85\text{кг}/\text{м}^3$.

При застосуванні прокату діаметру на 10мм більшого і більше, ніж закладено при розрахунках прокату для гідромоніторних кованок лап, довжина прокату зменшиться приблизно на 50-70мм. Частими є незаповнення торців ніпеля, цапфи, що веде до браку, зменшення величини осадки, що призведе до заковування окалини та потребуватиме додаткових двох – трьох переходів для видовження кованки лапи. Тому в такому випадку необхідно проводити протягування перед куванням з додатковими витратами газу, збільшується трудомісткість і додаткова очистка від окалини кованих заготовок [3].

При застосовуванні прокату діаметру на 5-10мм меншого ніж розраховано, довжина заготовки є більшою від довжини кованки лапи, тому неможливо проводити осадку під пресом для набування необхідного максимального перерізу, норма витрат при цьому збільшується. Для усунення цього необхідно додатково здійснювати осадження під молотом, при цьому збільшується норма витрат сталі за рахунок зменшення кількості заготовок з теоретично розрахункової довжини штанги прокату 4,875м, а також додатковий розхід металу через збільшення товщини вигорання поверхні кованок, додаткового очищення заготовок [3].

При куванні кованок шарошок (кованки 2-гої групи, що куються вздовж осі заготовки – кування з осадкою в торець) вибір найбільш технологічного діаметру прокату проводиться за формулою [102]:

$$d_{\text{сер}}^u = 1,08 \sqrt[3]{\frac{V_n^u}{m_{\text{заг}}}} = 1,08 \sqrt[3]{\frac{G_{\text{заг}}^u}{\rho_{\text{ст}} m_{\text{заг}}}},$$

де V_n^u – об'єм заготовки прокату шарошки, м^3 ; $G_{\text{заг}}^u$ – маса заготовки прокату шарошки, кг ; $\rho_{\text{ст}}$ – густина сталі, $7,85 \text{кг}/\text{м}^3$ $m_{\text{заг}}$ – коефіцієнт, який вибирали для запобігання викривлення заготовки в процесі кування [3]:

$$m_{\text{заг}} = \frac{l_{\text{заг}}}{d_{\text{заг}}} = 1,5 \dots 2,5$$

де $l_{\text{заг}}$ – довжина заготовки прокату шарошки, м ; $d_{\text{заг}}$ – діаметр заготовки прокату шарошки, м .

Для покращення фасування прокату різанням під заготовку шарошки потрібно вибирати значення $m_{\text{заг}}$ якомога ближче до 2,5. Практично для розрахунків прийнято $m_{\text{заг}} = 2$, це дозволяє використовувати прокат діаметром, що є більшим чи меншим на 5мм від номінального.

При необхідності використання прокату діаметром на 10мм більшим за прийнятий для даної поковки $m_{\text{заг}} \leq 1,2$. При цьому встановлено [3], що рубання в прес-ножицях штанги прокату при фасуванні заготовок для кування веде до виникнення браку. Практика показує, що при такому рубанні можливі викривлення, сколювання, зминання торців, збільшення косинуса різку та можливої появи

торцевих тріщин, особливо для сталі 14ХНЗМА, яка володіє підвищеною міцністю в стані поставки. Також при $m_{заг} > 1,5$ не варто проводити індукційний нагрів прокату при фасуванні, оскільки це призводить до випучування заготовок, зносу захисного ізоляційного бетону та оголення мідних струмопровідних витків індукторів, що може призвести до небезпечних виробничих ситуацій. Для усунення цих проблем необхідно проводити фасування штанги прокату різанням пилою, однак це призводить до збільшення норм витрат на виготовлення заготовок під кування. Крім того, зменшується величина осадки, а в окремих випадках її проводити неможливо, оскільки висота осадженої заготовки буде меншою за висоту поковки і може призвести до проблеми незаповнення вершин шарошок і торців заднього конуса шарошки та заковування як торцевої, так і поверхневої окалини та збільшення тривалості часу на очистку поковок [3].

У табл. 3.1 подано приклад розмірів фасованого прокату для виготовлення кованок під лапи і шарошки бурового долота діаметром 250,8мм [3].

Таблиця 3.1 – Розміри фасованого прокату для виготовлення кованок деталей тришарошкового бурового долота діаметром 250,8мм

Назва кованки	Маса заготовки, $G_{заг}^л$, чи $G_{заг}^ш$, кг	Діаметр прокату, $d_{заг}$, м	Довжина прокату, $l_{заг}$, м	Норма витрат, кг
Л 250,8	22,61	0,100	0,367	23,12
№1 Ш 250,8	7,00	0,090	0,140	7,16
№2 Ш 250,8	7,30	0,090	0,146	7,38
№3 Ш 250,8	7,10	0,090	0,140	7,16

3.3 Методика лабораторних експериментальних досліджень термічної обробки деталей бурових доліт та зразків

Для хіміко-термічної обробки застосовано заводські агрегати фірми IPSEN. Це багатоцільові двокамерні печі TQ-2 (рис. 3.2, а), які обладнані комп'ютеризованим обладнанням для високоточного повного керування і регулювання процесами термообробки в автоматизованому режимі (рис. 3.2, б). Термообробка і транспортування садки у межах пічного устаткування здійснюється автоматично.

Весь процес термообробки проводиться у середовищі захисного газу, завдяки чому попереджається окислення деталей.

Для керування і регулювання пічкою передбачена розподільна шафа з контрольно-вимірювальними приладами. Управління всіма функціями пічки здійснюється системою управління з програмованою пам'яттю (SPS). Робочі стани і несправності пічки мають індикацію на пристрої керування, який інтегрований в розподільну шафу. Цей пристрій також слугує для вводу даних [41].

Система „Carbo-o-Prof”, що монтується в розподільній шафі, забезпечує керування, візуалізацію, документування і керування даними процесу термічної обробки.

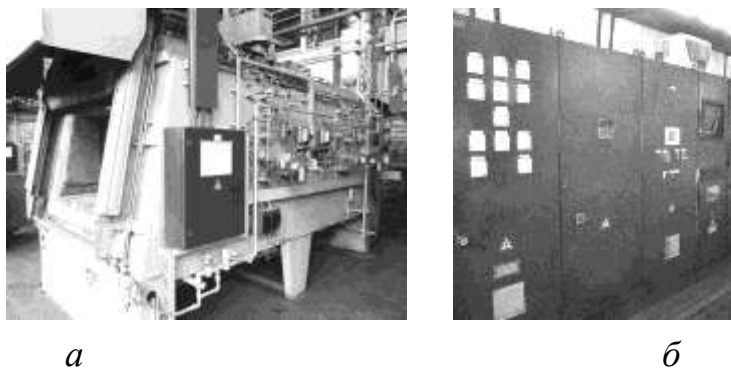


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд багатоцільової двокамерної печі TQ-2-10-ERM у момент налагодження (а) та розподільної шафи комп'ютерного моделювання та керування параметрами процесу ХТО (б)

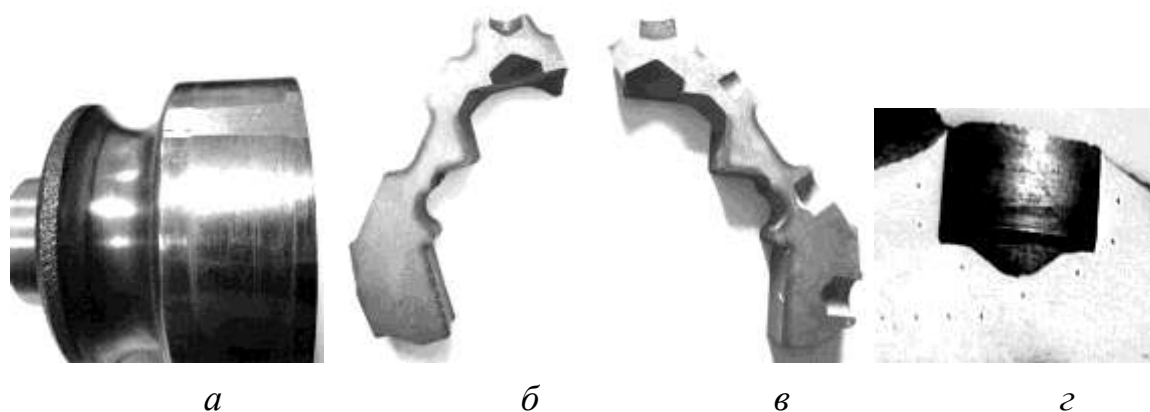
Цементация і гартування лап та шарошок здійснюється нагріванням в контрольованій атмосфері ендогазу із додаванням природного газу й повітря для отримання заданого рівня вуглецевого потенціалу. Місця, які не підлягають цементации, наприклад, бурти бігових доріжок, повинні бути захищені антицементацийною обмазкою або мати припуск на зняття цементованого шару.

При призначенні режимів термообробки керувалися типовими для долоного виробництва рекомендаціями системи стандартів якості термообробки деталей підприємства ТОВ „УніБурТех”, а також докладно викладених в [41].

Для встановлення фізико-механічних властивостей та структури сталей виготовляли темплети з деталей доліт (рис.3.3).

Виявлення мікроструктури здійснювали травленням темплетів у 4% спиртовому розчині азотної кислоти. Це дозволило 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 деталей бурових доліт (рис. 3.3 з),

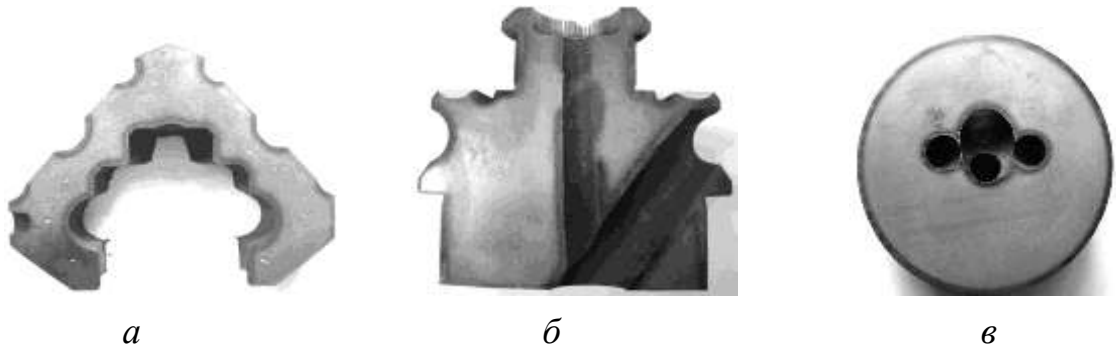


- a* – темплет цапфи лапи для вимірювання пошарової твердості на опорних поверхнях,
б – темплет для вимірювання твердості по осьовому перерізу тіла шарошки на шарошках без отворів на основних рядах
в – темплет для вимірювання твердості по осьовому перерізу тіла шарошки на шарошках із виконаними отворами
г – фрагмент темплету шарошки у ділянці отвору з відпечатками від випробовувань на твердість (точки по контуру отвору)

Рисунок 3.3 – Загальний вигляд типових темплетів деталей бурових доліт

Макроструктурний аналіз згідно стандартної методики, згідно якої, наперед підготовлену поліровану поверхню темплету (рис. 3.4) піддавали гарячому травленню в 50% розчині соляної кислоти при температурі 80°C протягом 40хв.

Для аналізу розподілу концентрації вуглецю в загартованих цементованих шарах досліджуваних зразків здійснювали за допомогою експрес-аналізаторі вуглецю моделі АН-7529 (рис. 3.5) згідно стандартної методики, яка застосовується на долотному виробництві. [16]



a – темплет шарошки доліт малих діаметрів,
б – темплет цапфи лапи доліт середніх та великих діаметрів,
в – темплет цапфи лапи у ділянці роликової бігової доріжки

Рисунок 3.4 – Загальний вигляд типових темплетів для макроструктурного аналізу

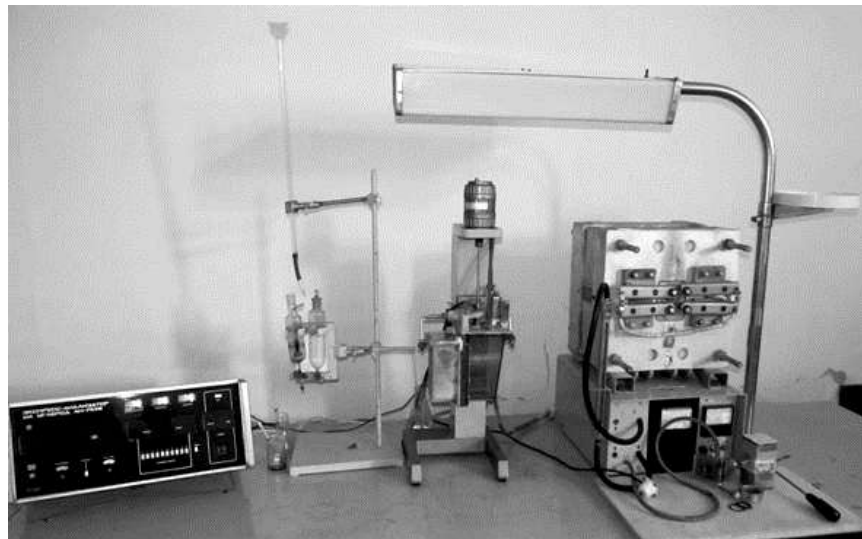


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд устаткування для встановлення пошарової концентрації вуглецю в цементованих та загартованих деталях доліт

Величину зерна структури зміцнених деталей виявляли згідно стандартної методики, що регламентує ГОСТ 5939-82. Суть методу - насичення вуглецем при температурі $930 \pm 10^\circ\text{C}$ протягом 8 год, виявлення структури та аналіз відповідно стандартної шкали.

3.4 Обладнання та методика дослідження контактного руйнування бігових доріжок опор доліт та механічного оброблення цапф лап

Контактну витривалість сталі досліджували на спеціальному стенді (рис.3.6), який відтворює умови роботи цапф лап [103]. Випробовували найнавантаженішу бігову доріжку великого роликового підшипника кочення діаметром 63,87мм, використовуючи серійні тіла кочення, взяті з однієї партії. Стенд забезпечує осьове навантаження на секції доліт та обертовий рух шарошок. У зоні контакту між роликами та біговою доріжкою створювали напруження 5700МПа, а тіла кочення оберталося навколо бігових доріжок частотою $8,3\text{с}^{-1}$. У зону контакту, імітуючи вплив промивного і охолоджувального розчинів, подавали проточну технічну воду. Критерієм довговічності був час до появи першого піттинга [16].

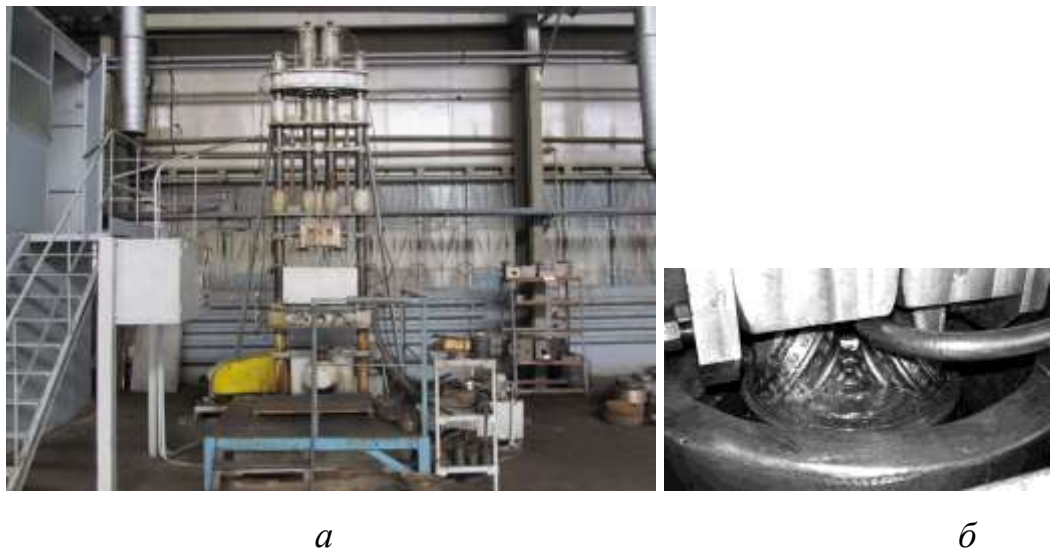


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд стенда для випробовування опор секцій доліт на контактну витривалість з набором кріплень і сталевих вибоїв (а) та вигляд відпрацювання секцій у водному середовищі (б)

Для здійснення попередніх випробувань взято чотири однакові пари зразків. Для оцінки середньої довговічності (в годинах до появи першого піттинга) з довірчою ймовірністю $P=0,8$ та відносною похибкою $\varepsilon=0,15$ виготовлено 10 пар

однакових зразків. Тіла кочення у всіх випадках були з однієї партії, а для зразків застосовано сталь однієї плавки [16].

Для вирішення цієї задачі був застосований досвід, описаний в [3]. Для отримання шорсткості оброблених поверхонь $R_a 0,8$ мм (по контакту $R_a 0,63$ мм) встановили подачу $s=0,12$ мм/об і припуск на чистовий прохід калібрування 0,3 мм на сторону. Оброблення цапфи лапи бурового тришарошкового долота 250,8 ТКЗ-ПГВ-Д27В проводили на токарному верстаті з ЧПК моделі TV650/4 фірми „DANOBAT” (Іспанія), загальний вигляд якого подано на рис. 3.7.



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд токарного верстата з ЧПК моделі TV650/4 фірми „DANOBAT” під час автоматизованого оброблення цапфи лапи долота

У якості різального інструменту застосовано спеціальні різці зі змінними пластинами з твердого матеріалу на основі кубічного нітриду бору. Такий інструмент добре зарекомендував себе при лезовому обробленні загартованих сталей твердістю до HRC65. Також при точінні цапфи лапи застосовано режим високошвидкісного оброблення (HSM – High Speed Machining), який на сьогодні є прогресивною технологією механічного оброблення матеріалів. Цикл оброблення однієї цапфи становив 9хв.57 с.

3.5 Устаткування та загальна методика балансування патронів токарних оброблювальних центрів

Для вивчення рівня якості оброблення цапф лап застосовано оброблювальний центр моделі SPV 40 CNC (рис. 3.8). Для налагодження оброблення цапф лап

апробовано методику балансування верстатного пристрою із установленою лапою.

*a**б**в**г**д**е**є*

a – перший етап балансування верстатного пристрою із установленою лапою долота,

б – встановлення нульової точки для технологічної бази та остаточне балансування пристрою,

в – загальний вигляд інтерфейсу верстата та запуск програми оброблення,

г – перше точіння цапфи (етап різання великої опори ковзання),

д – друге точіння цапфи (етап різання упорного торця),

е – кінцеве точіння великої опори ковзання,

є – точіння замкової кулькової бігової доріжки

Рисунок 3.8 – Основні етапи підготовки та реалізації механічного оброблення цапфи лапи бурового долота 215,9 FS3 UT275 на верстаті SPV 40 CNC

Вимірювання і аналіз балансу здійснювали за допомогою приладу, загальний вигляд якого подано на рис. 3.9. Він дозволяє отримувати інформацію для досягнення балансу способом додання, видалення або розподілення вантажів.

Прилад включає оптичний давач швидкості, який легко налаштувати і використовувати на зручній відстані (0,1-2,0 м) від обертових механізмів.



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд портативного пристрою для балансування моделі CX Balancer



Рисунок 3.10 – Схема послідовності кроків балансування

Функція балансування дуже проста і направляє користувача прямо через правильну послідовність кроків (рис. 3.10): першого запуску, запровадження пробної ваги, другий запуск, і, нарешті, рекомендація про розмір і розташування вантажів, які будуть використовуватися для корекції.

Блок-схема алгоритму програми балансування подана на рис. 3.11.

Розрахунок пробної ваги здійснювали при динамічному балансуванні патронів. Пробна вага повинна бути достатньо великою для значної зміни вектора дисбалансу, але в той же час вона повинна бути досить невеликою, щоб не зруйнувати патрон.

Відсутність рівноваги може бути представлено, як показано на рис. 3.12,а. Вектор V_1 показує, що початкова відсутність рівноваги патрона і V_2 – вектор, отриманий додаванням пробної ваги.

Зазвичай, зміна 20% з вектора відсутності рівноваги абсолютно відповідна. Це означає, що вектор V_2 має бути розміщений за межами круга, як показано в рис.3.12, б.

Відомо, що ISO 1940/1 визначає допустимий залишковий дисбаланс як:

$$U_{pez} = 9549 \times G \times \frac{W}{N}, \quad [\text{Г} \cdot \text{мм}], \quad (3.1)$$

де G – клас якості балансу,

W – вага патрона [кг],

N – максимальна кількість обертів патрона [об/хв].

Виходячи з того, що більшість промислових роторів можуть бути збалансовані, враховуючи клас якості балансування 6,3. Відтак, у формулі (1), замінюючи максимальну кількість обертів патрона N з кількістю обертів балансера N_b розраховали пробну вагу (T_w):

$$T_w = 9549 \times 6,3 \times W / N_b / R, \quad [\text{Г}] \quad (3.2)$$

де: R – радіус установки пробної ваги, W – Вага патрона [кг],

N_b – кількість обертів для балансування [об/хв].

Для двоплощинного балансування, значення пробної ваги буде дорівнювати половині T_w в кожній площині балансування ($\frac{T_w}{2}$).

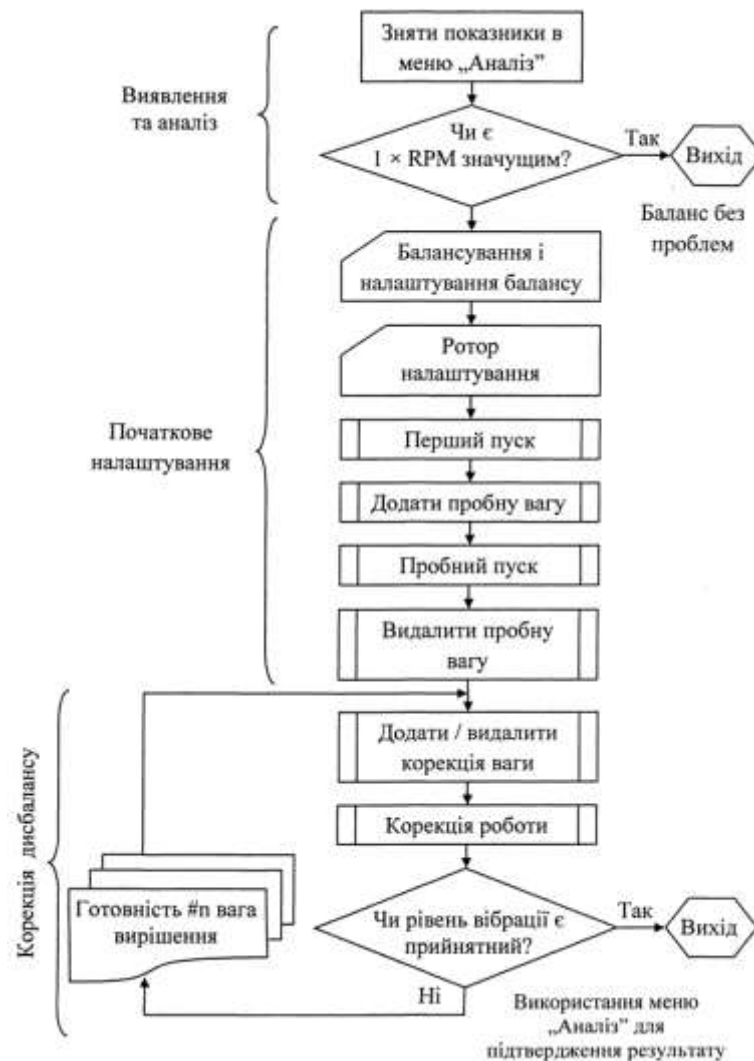


Рисунок 3.11 – Блок-схема алгоритму програми балансування верстатного пристрою

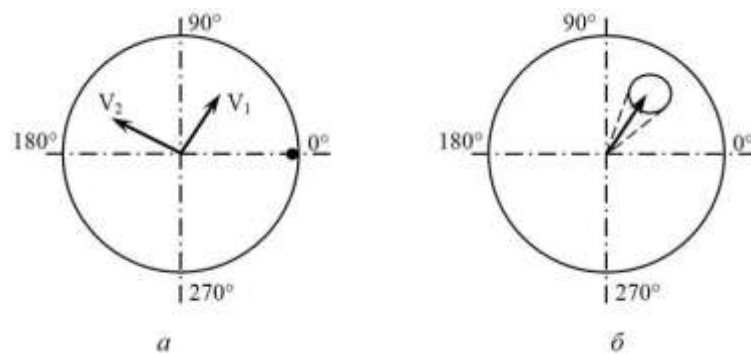


Рисунок 3.12 – Додавання пробної ваги для досягнення рівноваги

а – додавання пробної ваги v_2 ,

б – виділення ділянки для планування розміщення пробної ваги v_2 .

3.6 Методика експериментальних досліджень з визначення поверхневої пластичної деформації бігових доріжок, механічного оброблення порожнин та формоутворення отворів у тришарошкових бурових долотах

Обкочування здійснювали на верстаті 1K62 (рис 3.13) згідно методики описаної в [41] (частота обертання цапфи 212об/хв., подача індентора (кульки) 0,008мм/об, навантаження при притисканні індентора нормальним зусиллям рівним 700Н). ХТО цапф лап здійснювали згідно підвищених вимог до якості контролю параметрів цементації, температур гартування і відпусків згідно рекомендацій [41].

Оброблення шарошок здійснювали на вертикальному одно шпindelьному токарному центрі VSC виробництва фірми „EMAG” що обладнаний системою ЧПК SIMENS 840D (рис. 3.14).

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



а



б

а – налагодження пристрою;

б – процес обкочування бігової доріжки цапфи лапи

Рисунок 3.13 – Загальний вигляд пристрою для ППД обкочуванням бігових доріжок цапф лап тришарошкових бурових доліт

Точність оброблення даного верстату забезпечується автоматизованим фіксуванням і позиціонуванням заготовки шарошки в патроні, що складає 0,05мм. Контроль геометричних параметрів оброблених поверхонь здійснюється спеціалізованим вимірним щупом „Marpos”.



Рисунок 3.14 – 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) [12]

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).

Експериментальні дослідження із підбору ефективного інструменту для свердління отворів під твердосплавні вставки проводили на шарошках бурових доліт діаметром 244,5 виготовлених зі сталі 14ХНЗМА [15]. Шарошки виготовляли за серійною заводською технологією. Для формоутворення отворів застосовано верстат MCV 500 фірми „Kovosvit”.

Для свердління отворів застосовано твердосплавні свердла фірми „Hertel”.

Застосовано параметри різання [15]: частота обертання інструмента $n=1000$ об/хв., подача $s=0,1$ мм/об., швидкість різання $v=45$ м/хв.

Для можливості порівняння досліджень із раніше отриманими результатами в [70] 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.

3.7 Методика симплексної оптимізації параметрів різання для налагодження операцій „свердління отворів в упорному торці підшипника ковзання шарошки”

Симплекс є елементарним випуклим багатокутником, який утворено $k + 1$ вершинами загального положення в k -тому просторі. Шляхом послідовного відкидання вершин здійснюється переміщення симплексу у факторному просторі, причому це переміщення буде відбуватися з кожним експериментом. Переміщення симплексу у факторному просторі відбувається шляхом дзеркального відображення вершини, що мають мінімальне значення відклику. Досягнувши області екстремуму, симплекс починає обертатися навколо вершини з максимальним значенням відклику. Це вважається кінцем процесу оптимізації [104].

Симплексний метод оптимізації вибрано через те, що експерименти можна поставити виключно в точках факторного простору, що відповідають вершинам симплексів. В [104] показана ефективність застосування такого методу для зменшення затрат на реалізацію експериментів.

Двомірний симплекс в нашому випадку є рівностороннім трикутником ABC (рис. 3.15). Відстань між двома вершинами в одиницях варіації відповідних змінних прийнято рівним одиниці. Висота симплексу рівна 0,86 (у початку координат розташовано одну з вершин симплексу). Базові значення та інтервал варіації подані в табл. 3.2.

Координати вершин нового симплексу (в кодівих значеннях) знаходять за формулою

$$x_{i_{k+2}} = \frac{2}{k} \sum_u x_{i_u} - x_i^* \quad (3.3)$$

де $x_{i_{k+2}}$ – координати нової вершини, є дзеркальним відображенням вершини, яка відкидається при русі симплекса,

x_i^* – координата вершини, що відкидається при русі симплекса,

Для нашого випадку координата точки A' :

$$x_{14} = \frac{2}{2}(+0,5+1)-0 = 1,5, \quad x_{24} = \frac{2}{2}(+0,86+0)-0 = 0,86.$$

$\frac{1}{k} \sum_u x_{i_u}$ – середнє значення координат всіх точок симплексу, крім тієї яка відкидається.

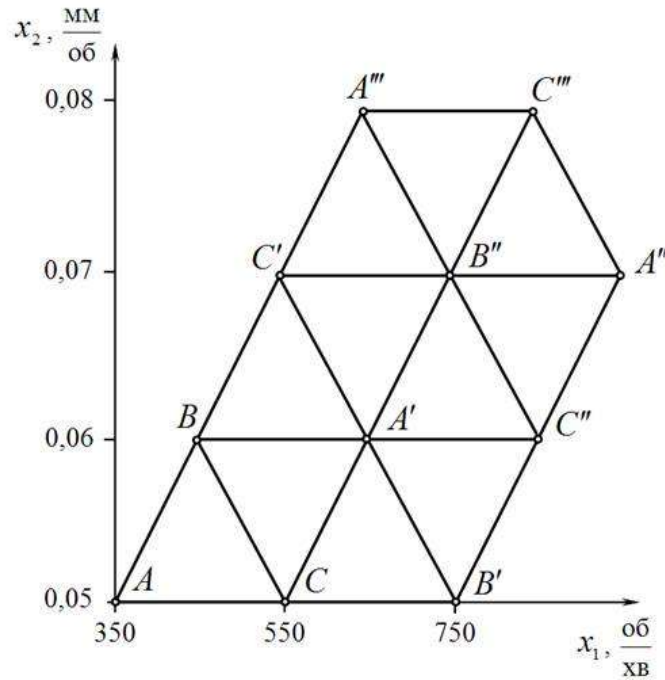


Рисунок 3.15 – Схема руху симплексу

Таблиця 3.2 – Базові значення та інтервал варіації дослідних точок

Фактори чи параметри	Позначення	Основний рівень	Інтервал варіації
Частота обертання, об/хв	x_1	350	200
Подача, мм/об	x_2	0,05	0,01

За кодовим значенням координат точки A' визначається їхнє натуральне значення, тобто значення факторів у експерименті в точці A' . Значення факторів у натуральних і кодових одиницях зв'язані відношенням [104]:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i_0}}{\Delta \tilde{x}_i} \quad (3.4)$$

де x_i – кодове (в одиницях симплекса) значення фактора, \tilde{x}_i – натуральне значення фактора, $\Delta\tilde{x}_i$ – інтервал (одиниця) варіації фактора \tilde{x}_i

Для встановлення значень \tilde{x}_i у формулу (3.4) замість x_i підставляються кодові значення $x_1 = x_{14}$ і $x_2 = x_{24}$.

3.8 Висновки

1. Сформульовано вимоги до технології виготовлення заготовок для шарошок доліт. Для яких рекомендовано нагрів до 1100°C і завершення гарячої пластичної деформації при температурах нижче температур рекристалізації аустенітного зерна.

2. Встановлені вимоги до параметрів прогартовування долотних сталей, що схильні до деформації: різниця між твердістю на відстані від торця 6,5мм та на відстані від торця 30мм не повинна перевищувати HRC10.

3. Рекомендується застосовувати плавки долотних сталей котрі дають мінімальний перепад значень концентрації вуглецю між поверхневими шарами загартованого цементованого шару і серцевиною. При ХТО слід ретельно дотримуватись температури підстуджування після цементації, яка повинна бути рівною 830±10°C. У випадках виявлення схильності плавки долотної сталі до виникнення деформацій шарошок слід заготовки, після чорнового точіння, піддавати рекристалізаційному відпалу, або високому відпуску.

4. Створені нові шляхи підвищення якісних показників цементованих шарошок та цапф лап тришарошкових бурових доліт апробовані в умовах реального виробництва і прийняті до подальшого вдосконалення якості й підвищення конкурентоздатності вітчизняних бурових доліт (додатки В, Г).

5. Встановлено, що для підвищення контактної довговічності бігових доріжок відкритих опор доліт можна вдосконаленням технології хіміко-термічної обробки за рахунок проектування технологічних процесів застосовуючи критерій що визначає параметри ефективного загартованого цементованого шару за значенням твердості. Зміцнення повинно забезпечувати плавний розподіл

значень твердості та концентрації вуглецю від поверхні (HRC60-63 та 0,95-1,1%С) до серцевини бігових доріжок. При цьому в ділянці ефективного цементованого шару, на глибині 1,6-2,2мм, значення твердості та концентрації вуглецю повинні дорівнювати HRC51,5 та 0,45-0,55%С відповідно.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ

4.1 Якісні конструкторські показники параметрів технологічного процесу порожнин шарошок бурових доліт

При механічному обробленні порожнин шарошок доліт виявляються проблеми спричинені значними відхиленнями розмірів від регламентованих конструкторсько-технологічною документацією. Зокрема, встановлено [13], що зниження точності конструкторських параметрів бігових доріжок дає зростання значень деформацій і викривлень деталей після ХТО. Тому розточування шарошок слід здійснювати з жорстким дотриманням операційних розмірів, звести до мінімуму конусність та овальність роликів бігових доріжок. З цією метою вивчали вплив ХТО на відхилення від номінальних розмірів порожнин шарошок (сталь 14ХНЗМА) різних типорозмірів бурових доліт. Зокрема вимірюванням були піддані партії (в кожній 30 шт.) шарошок доліт діаметром 224,5; 444,5; 490 [13].

Результати вимірювання конструкторських елементів шарошок долота типу 224,5 ОК подано в табл. 4.1. Зафіксовані відхилення вимагають додаткових затрат на механічне оброблення. Тут оброблення точінням на VSC-250 необхідно вести не за один, а за два проходи. Відтак, час на операцію механічного оброблення порожнини однієї такої шарошки збільшується до 12,06 хв. аналогічну картину спостерігали і для шарошок бурових доліт типу 250,8 ТКЗ [13].

Шарошки долота типу 393,7 М вимагали призначення збільшення припуску на механічне оброблення кулькової бігової доріжки замкового підшипника кочення. Це потребує обробляти цей елемент у три проходи. У цілому, час на операцію механічного оброблення порожнини однієї такої шарошки збільшується до 37,5хв.

Відхилення розмірів порожнини шарошки для доліт типу 444,5 МСЗ подано в табл. 4.2, а для доліт типу 444,5 МЗ в табл. 4.3 [13].

Таблиця 4.1 – Відхилення розмірів від номінальних розмірів бігових доріжок порожнини шарошок бурових доліт типу 224,5 ОК

Конструктивний елемент порожнин шарошок	Показник відхилення	Значення показників		
		Шарошка №1	Шарошка №2	Шарошка №3
КБД	min, мм	+0,92	+0,90	+0,90
	max, мм	+1,00	+1,10	+1,20
	\bar{x} , мм	+0,952	+0,988	+1,045
	s	0,017	0,043	0,066
ВБД	min, мм	+0,54	+0,45	+0,48
	max, мм	+0,95	+1,20	+1,00
	\bar{x} , мм	+0,79	+0,759	+0,75
	s	0,094	0,18	0,125
МБД	min, мм	+0,30	+0,35	+0,30
	max, мм	+0,70	+0,65	+0,85
	\bar{x} , мм	+0,488	+0,525	+0,625
	s	0,083	0,066	0,12
Зміщення торця шарошки відносно осі КБД	min, мм	+0,12	+0,12	+0,10
	max, мм	+0,13	+0,15	+0,18
	\bar{x} , мм	+0,125	+0,133	+0,138
	s	0,03	0,008	0,018

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

Тут також зафіксовано збільшення деформацій особливо по розмірах кулькової та великої роликової бігової доріжки. З отриманих даних випливає також те, що чим складніший контур перерізу шарошок вздовж їх осі тим більше проявляються деформації і викривлення.

Припуск на механічне оброблення великої бігової доріжки роликового підшипника кочення шарошок доліт діаметром 444,5 збільшується і час на оброблення цієї поверхні зріс на 15хв. У цілому час на операцію механічного оброблення порожнини однієї шарошки типу 444,5 М збільшується до 32,35хв, а для шарошки долота типу 444,5 МСЗ час збільшується до 50хв.

Механічне оброблення порожнини шарошки долота типу РТБ 490 С також необхідно здійснювати за два проходи, відтак час на цю операцію збільшується до 54,04хв. Припуск на механічне оброблення необхідно призначати відповідно до відхилень які подано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Відхилення розмірів від номінальних розмірів бігових доріжок порожнини шарошок (заготовка яких виготовлена способом литва) бурових доліт типу 444,5 МСЗ

Конструктивний елемент порожнин шарошок	Показник відхилення	Значення показників		
		Шарошка №1	Шарошка №2	Шарошка №3
КБД	min, мм	+1,15	+0,80	+1,15
	max, мм	+1,30	+1,20	+1,20
	\bar{x} , мм	+1,212	+0,988	+1,188
	s	0,031	0,088	0,013
ВБД	min, мм	+0,70	+0,75	+0,80
	max, мм	+1,30	+1,27	+1,25
	\bar{x} , мм	+1,05	+1,10	+1,058
	s	0,132	0,121	0,11
МБД	min, мм	+0,60	+0,62	+0,50
	max, мм	+0,75	+0,70	+0,80
	\bar{x} , мм	+0,667	+0,672	+0,65
	s	0,031	0,019	0,065
Зміщення торця шарошки відносно осі КБД	min, мм	+0,40	+0,38	+0,30
	max, мм	+0,60	+0,50	+0,40
	\bar{x} , мм	+0,468	+0,438	+0,357
	s	0,045	0,052	0,022

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

Для більш точного встановлення параметрів деформацій і викривлень порожнин шарошок досліджено партію шарошок типу 444,5 М. Вимірювання проводили згідно схеми що подана на рис. 4.1. Зафіксовані відхилення розмірів подано в табл. 4.3 [13].

Вивчення взаємозв'язку між конструкторськими параметрами шарошок та їх схильністю до деформацій показав наступне. Для доліт діаметром 224,5, у яких шарошки виконуються під вставне породоруйнівне оснащення, максимальне відхилення розмірів фіксували на шарошках №3.

Таблиця 4.3 – Відхилення розмірів від номінальних розмірів бігових доріжок порожнини шарошок (заготовка яких виготовлена способом литва) бурових доліт типу 444,5 МЗ

Конструктивний елемент порожнин шарошок	Показник відхилення	Значення показників		
		Шарошка №1	Шарошка №2	Шарошка №3
КБД	min, мм	+0,75	+0,70	+0,60
	max, мм	+0,90	+0,85	+0,81
	\bar{x} , мм	+0,817	+0,767	+0,703
	s	0,044	0,044	0,061
ВБД	min, мм	+0,80	+0,80	+0,70
	max, мм	+1,10	+1,00	+1,10
	\bar{x} , мм	+0,967	+0,867	+0,90
	s	0,088	0,067	0,10
МБД	min, мм	+0,55	+0,55	+0,55
	max, мм	+0,70	+0,60	+0,75
	\bar{x} , мм	+0,488	+0,583	+0,633
	s	0,058	0,017	0,06
Зміщення торця шарошки відносно осі КБД	min, мм	+0,42	+0,40	+0,35
	max, мм	+0,69	+0,52	+0,46
	\bar{x} , мм	+0,515	+0,455	+0,39
	s	0,061	0,032	0,026

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

В шарошках з фрезерованим породоруйнівним оснащенням максимальні відхилення виявлено в шарошках №1 та №2. У всіх шарошках максимальні відхилення розмірів зафіксовано на великій роликовій біговій доріжці (ВБД) та на кульковій біговій доріжці (КБД). Зауважимо, що ВБД сприймає найбільші навантаження в процесі роботи долота і визначає вантажність опори секції долота, а КБД є частиною замкового підшипника, який визначає роботу всіх роликових рядів опори долота. А це означає, що до технології механічного оброблення цих відповідальних елементів опори повинні висуватись підвищені вимоги. Повинні забезпечуватися висока однорідність фізико-механічних показників зміцнених шарів, стала товщина цементованих шарів тощо. Критеріями якості загартованих шарів КБД та ВБД є висока тріщиностійкість та контактна витривалість.

Таблиця 4.4 – Відхилення розмірів від номінальних розмірів бігових доріжок порожнини шарошок бурових доліт типу РТБ 490 С (заготовка яких виготовлена способом литва)

Конструктивний елемент порожнин шарошок	Показник відхилення	Значення показників		
		Шарошка №1	Шарошка №2	Шарошка №3
МБД	min, мм	+0,75	+0,75	+0,80
	max, мм	+1,00	+1,20	+1,10
	\bar{x} , мм	+0,913	+0,938	+0,963
	s	0,055	0,103	0,063
КБД	min, мм	+0,90	+0,80	+0,75
	max, мм	+1,35	+1,70	+1,30
	\bar{x} , мм	+1,138	+1,30	+1,137
	s	0,111	0,196	0,131
ВБД	конусність	0,20-0,4	0,25-0,50	0,30-0,4
	овальність	0,15-0,25	0,20-0,30	0,1-0,20
	min, мм	+0,80	+1,00	+0,90
	max, мм	+0,90	+1,25	+1,10
	\bar{x} , мм	+0,875	+1,087	+1,00
	s	0,048	0,059	0,041

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

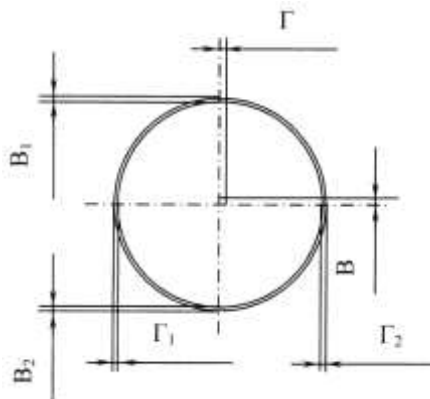


Рисунок 4.1 – Схема обмірювання бігових доріжок порожнин шарошок доліт

Аналізом відхилень від номінальних розмірів у різних точках перерізу бігових доріжок згідно рис. 4.1 встановлено (табл. 4.5) [13], що після операції механічного оброблення зміцнений шар буде мати неоднорідну товщину. У окремих місцях товщина цементованого шару може зменшуватися до 0,1-0,3мм.

Відтак виникають ділянки бігових доріжок з різко пониженою концентрацією вуглецю й твердістю, що суттєво знижує контактну витривалість опор доліт.

Таблиця 4.5 – Відхилення розмірів від номінальних розмірів бігових доріжок порожнини шарошок бурових доліт типу 444,5 М

Елемент конструкції відповідно до схеми рис. 1		Значення припуску		
		Шарошка №1	Шарошка №2	Шарошка №3
ВБД	B ₁	+0,24	-0,12	-0,18
	Г ₁	+0,79	+0,51	-0,08
	B ₂	-0,03	+0,95	+0,72
	Г ₂	+0,44	+0,35	+0,78
МБД	B ₁	+0,86	+0,95	+0,80
	Г ₁	+1,20	+0,76	+0,76
	B ₂	+0,93	+1,15	+0,81
	Г ₂	+0,85	+0,78	+0,80
КБД	B ₁	+0,88	+1,05	+1,00
	Г ₁	+1,15	+0,81	+0,64
	B ₂	+1,00	+0,87	+0,88
	Г ₂	+0,90	+0,95	+0,75
Зміщення КБД, мм	B	+0,30	-0,08	+0,10
	Г	0,00	+0,20	-0,05

Шліфування порожнин шарошок із значними відхиленнями розмірів від номінальних спричинює утворення припалів, мікротріщин на бігових доріжках. У ділянці бігової доріжки КБД шарошки виникають небезпечні перерізи. Неоднаковість товщини загартованого шару, мікротріщини в ньому (рис. 4.2) веде до розколювання тіла шарошок ще на першій годині роботи долота на вибої [13].



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд темплета шарошки з тріщиною на глибину 2,1мм вздовж цементованої кулькової бігової доріжки (товщина цементованого шару 1,3-1,6мм)

Токарне оброблення порожнин шарошок також супроводжується проблемами через збільшення вібрацій, зниження стійкості токарних різців. За таких умов важко досягти високої якості конструкторських показників бігових доріжок. Це також різко знижує довговічність опор доліт.

Таблиця 4.6 – Відхилення від номінальних розмірів бігових доріжок порожнин шарошок (заготовка яких виготовлена литвом) бурових доліт типу 224,5 Т

Конструктивний елемент порожнин шарошок	Показник відхилення	Значення показників		
		Шарошка №1	Шарошка №2	Шарошка №3
КБД	min, мм	+0,85	+1,00	+0,75
	max, мм	+1,92	+1,45	+1,30
	\bar{x} , мм	+1,468	+1,213	+1,012
	s	0,246	0,101	0,12
ВБД	min, мм	+1,54	+1,35	+1,48
	max, мм	+2,15	+2,20	+1,90
	\bar{x} , мм	+0,1,873	+1,763	+1,67
	s	0,132	0,184	0,106
МБД	min, мм	+0,65	+0,55	+0,55
	max, мм	+1,15	+1,12	+1,00
	\bar{x} , мм	+0,873	+0,805	+0,712
	s	0,105	0,118	0,101
Зміщення торця шарошки відносно осі КБД	min, мм	+0,2	+0,20	+0,23
	max, мм	+0,30	+0,32	+0,35
	\bar{x} , мм	+0,242	+0,263	+0,285
	s	0,022	0,025	0,026

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

Вивчення впливу способу виготовлення заготовки шарошки показало, що заготовки з литої сталі проти кованок дають більші значення відхилень розмірів. Вимірюваннями встановлено, що відхилення від номінальних для литих шарошок збільшуються майже в 2 рази (табл. 4.6). Зокрема, шарошки доліт типу 244,5 Т виготовлені литвом вимагали збільшення кількості проходів при шліфуванні порожнини після ХТО до 3 разів.

4.2 Вплив фізико-механічних та технологічних показників долотних сталей на якісні конструкторські показники порожнин шарошок бурових доліт, що формуються при токарних обробках

Відомо, що величина об'ємних змін при гартуванні прямо пропорційна вмісту вуглецю в сталі і кількості утвореного мартенситу після гартування. При збільшенні прогартування сталі деформація також зростає. В [48] описано різке підвищення деформацій шестерень виготовлених зі сталей що володіли підвищеною прогартуваністю. Тому висунуті рекомендації щодо контролю сталі по цьому параметру. Стосовно долотних сталей та деталей доліт такі дані відсутні. Відтак, другий етап досліджень присвячено вивченню впливу фізико-механічних показників та прогартування долотних сталей на деформацію і викривлення шарошок доліт.

Досліджували сталі хімічний склад яких подано в табл. 4.7, а фізико-механічні показники в табл. 4.8 [13].

Таблиця 4.7 – Хімічний склад досліджуваних сталей

Сталь	Процентний вміст хімічних елементів, %										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Al	P	S
20ХН3А	0,21	0,31	0,45	0,84	3,05	0,06	0,19	0,01	0,03	0,015	0,015
14ХН3МА	0,13	0,27	0,64	1,25	3,23	0,11	0,20	0,02	0,02	0,015	0,015

Таблиця 4.8 – Фізико-механічні показники досліджуваних сталей

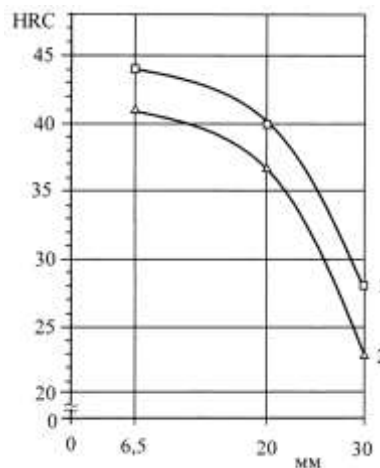
Сталь	Твердість у стані поставки, НВ	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	КСУ, $\frac{Дж}{см^2}$
20ХН3А	240	1030	932	10	45	12
14ХН3МА	265	980	882	12	50	11

Перша партія шарошок (94 шт) доліт типу 224,5 ОК була виготовлена зі сталі 14ХН3МА. Після гарячого об'ємного кування і охолодження на повітрі заготовки шарошок проходили нормалізацію від температури 880-900°C з охолод-

женням на повітрі та високим відпуском при 680°C з охолодженням разом з пічкою до 550°C , потім на повітрі. У результаті отримували повну фазову пере-кристалізацію сталі, і як наслідок – відновлення величини зерна перегрітої сталі поковки, підвищення однорідності та дрібнозернистості структури. Це також покращує технологічні показники сталі поковки.

Друга партія шарошок (25 шт) була виготовлена зі сталі 20ХН3А. Згідно заводських параметрів провели виготовлення кованок. Далі заготовки пройшли чорнове обточування. Заготовки піддавали проміжному високому відпуску при температурі 650°C на двох перших етапах і 580°C на останньому. Температура підстуджування після цементації дорівнювала $830\pm 10^{\circ}\text{C}$.

Досліджувані сталі випробували на прогартовування, результати яких подано на рис. 4.3 [13]. В обох випадках для дослідних сталей 20ХН3А і 14ХН3МА прогартовування на відстані від торця 6,5мм та 30мм мають значну різницю (HRC16 і HRC18 відповідно для сталей 20ХН3А і 14ХН3МА). Такий перепад твердості у перерізі термооброблених деталей є найбільш імовірною причиною зростання їх деформацій і викривлень.



1 – Сталь 20ХН3А,

2 – Сталь 14ХН3МА

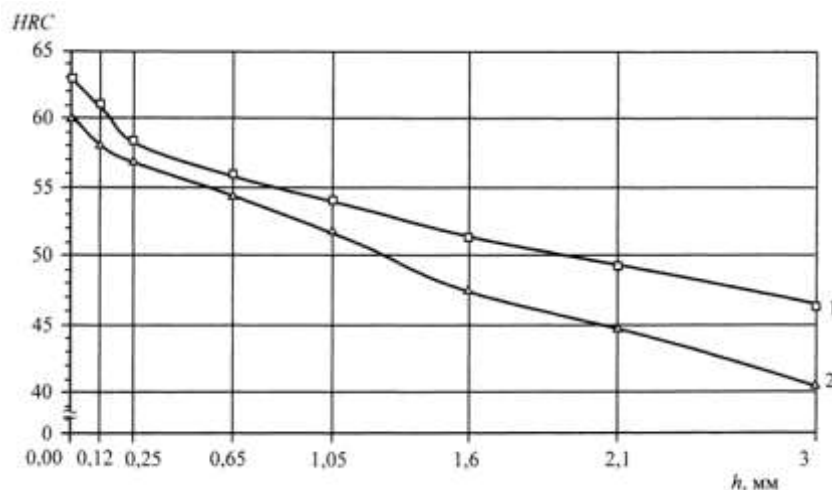
Рисунок 4.3 – Прогартовуваність досліджуваних сталей

Перед ХТО в 4-х шарошках із 10-ти (перша партія), при їх обмірюванні, зафіксовано конусність великої роликової бігової доріжки у межах від 0,03 до

0,07мм. У другій партії шарошок конусність роlikової бігової доріжки зафіксована у межах від 0,02 до 0,03мм. Це свідчить про недостатню жорсткість вимог до технологічної операції чорнового точіння порожнини шарошки.

Згідно серійної технології середнє значення величини конусності ВБД шарошки з першої партії після цементації з високого відпуску дорівнювало 0,076мм, у другій партії – 0,119мм.

Здійснено стандартний аналіз досліджуваних сталей на спеціально підготовлених темплетях шарошок по показниках розподілу твердості (рис. 4.4) та концентрації вуглецю (рис. 4.5) від поверхні в серцевину великої бігової доріжки. Встановлено деяку відмінність у величині значень при практично однаковому характері отриманих кривих 1 і 2 (рис. 4.4, 4.5), що підтверджує якість ХТО [13].

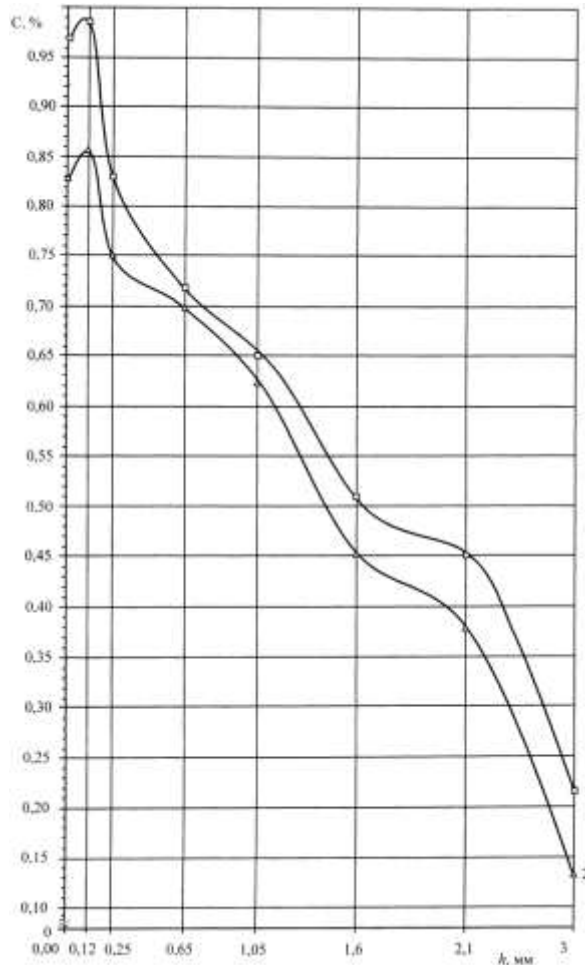


1 – Сталь 20ХН3А, 2 – Сталь 14ХН3МА

Рисунок 4.4 – Розподіл твердості від поверхні в серцевину після цементації і гартування на великій біговій доріжці шарошки

Після повної ХТО конусність роlikової бігової доріжки шарошки з першої партії шарошок дорівнювала 0,08мм, у другій партії – 0,136мм.

Згідно експериментальної технології середнє значення величини конусності роlikової бігової доріжки шарошок з першої партії після цементації в високого відпуску дорівнювало 0,012мм, у другій партії – 0,029мм.



1 – Сталь 20ХН3А, 2 – Сталь 14ХН3МА

Рисунок 4.5 – Пошарова концентрація вуглецю на великій біговій доріжці шарошок

Після повної ХТО конусність роlikової бігової доріжки шарошки з першої партії дорівнювала 0,038мм, у другій партії – 0,052мм.

Ці дані показують, що деформації є менші після проведення операції високотемпературного відпуску для зняття внутрішніх напружень після чорнового розточування порожнини шарошки. Ця операція порівняно з попередньою термічною обробкою шарошок (нормалізація + відпуск) забезпечує зменшення деформацій шарошок після повної ХТО в 2-2,5 рази. Такі результати добре узгоджуються з даними робіт [46, 47].

4.3. Вплив прогартовування долотної сталі й концентрації вуглецю в серцевині шарошки на схильність до утворення конусності поверхонь бігових доріжках шарошок бурових доліт

Для встановлення взаємозв'язку між прогартовуваністю долотної сталі й концентрацією вуглецю в серцевині шарошки та схильністю до утворення конусності на ВБД шарошок провели експериментальні дослідження [13].

Отже, досліджували вплив двох факторів: прогартовування сталі (різниця між твердістю в точках на відстані від поверхні 6,5мм та 30мм), позначили „ Π ” і процентним вмістом вуглецю в серцевині шарошок, який позначили „ C ” на величину утвореної конусності великої бігової доріжки шарошок, позначали „ K ”.

Забезпечення відтворення експериментами всіх необхідних комбінацій з досліджуваних факторів був вибраний план повного двофакторного експерименту 2^2 [105].

Кодові значення факторів будуть відповідно X_1 , X_2 .

$$X_1 = \frac{\Pi - 0,5(\Pi_{max} + \Pi_{min})}{0,5(\Pi_{max} - \Pi_{min})} \quad (4.1)$$

$$X_2 = \frac{C - 0,5(C_{max} + C_{min})}{0,5(C_{max} - C_{min})} \quad (4.2)$$

Граничні значення прогартовування сталі $\Pi_{max} = HRC15$ і $\Pi_{min} = HRC5$, а концентрації вуглецю $C_{max} = 0,2\%C$ і $C_{min} = 0,13\%C$.

Одержимо:

$$X_1 = 0,2\Pi - 2 \quad (4.3)$$

$$X_2 = 28,571C - 4,714 \quad (4.4)$$

В якості відклику D виберемо емпіричне рівняння регресії у вигляді полінома першого порядку:

$$K = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 \quad (4.5)$$

де β_0 , β_1 , β_2 – коефіцієнти функції.

Відповідно оцінку функції відклику (емпіричного рівняння регресії) шукається у вигляді:

$$\widehat{K} = b_0 + b_1 + b_2 \quad (4.6)$$

де b_0, b_1, b_2 – оцінки коефіцієнтів $\beta_0, \beta_1, \beta_2$.

Згідно плану експерименту було проведено $N=4$ дослідів, з числом повторів кожного дослідів $m=3$, необхідна кількість дослідних зразків $mN=12$.

Середнє значення конусності ВБД \bar{y}_i і середнє квадратичне відхилення S_i визначається за стандартними формулами [105]:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{3} \sum_{n=1}^3 y_{in} \quad (4.7)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sum_{n=1}^3 y_{in}^2 - \frac{\left(\sum_{n=1}^3 y_{in} \right)^2}{3} \right)} \quad (4.8)$$

де y_{in} – потокове значення величини конусності ВБД.

Матриця плану експерименту, значення відклику, представлені в табл. 4.9 [13].

Таблиця 4.9 – Матриця планування експерименту

№ дослідів i	Фактори			K				S_i
				Повтори дослідів, y_{in}			\bar{y}_i	
	X_0	X_1	X_2					
1	+	+	–	0,120	0,125	0,130	0,125	$5,0 \times 10^{-3}$
2	+	+	+	0,185	0,190	0,200	0,192	$7,6 \times 10^{-3}$
3	+	–	+	0,028	0,032	0,029	0,030	$2,1 \times 10^{-3}$
4	+	–	–	0,060	0,068	0,070	0,066	$5,3 \times 10^{-3}$

За результатами досліджень оцінки коефіцієнтів функції відклику:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i = 0,103 \quad (4.9)$$

$$b_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{1i} \bar{y}_i = 0,055 \quad (4.10)$$

$$b_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{2i} \bar{y}_i = 0,008 \quad (4.11)$$

Оцінка функції відклику в кодованих значеннях факторів:

$$\widehat{K} = 0,103 + 0,055X_1 + 0,008X_2 \quad (4.12)$$

Підставимо замість X_1 , X_2 їхні значення (4.3, 4.4), отримаємо оцінку залежності середнього значення конусності ВБД шарошки після ХТО від прогартовування і вмісту вуглецю в долотній сталі шарошок [13]:

$$\widehat{K} = -0,045 + 0,011\Pi + 0,229C \quad (4.13)$$

Статистичний аналіз результатів дослідження починається з перевірки однорідності дисперсій.

Критичне значення критерію Кохрена:

$$G = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} = 0,501 \quad (4.14)$$

Так, як при довірчій ймовірності $P_{ДОВ} = 0,95$ і числах вільності $k_1 = m - 1 = 2$, $k_2 = N = 4$ критичне значення критерію Кохрена – $G_{KP} = 0,7679$, що вибирається з [106], гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується, оскільки $G_{KP} > G$.

Для перевірки адекватності моделі провели додатковий експеримент у центрі плану експерименту. Отже випробували три шарошки у яких сталь мала: $\Pi = HRC10$ та $C = 0,16\%C$. У результаті встановлені значення конусності на ВБД: 0,039мм, 0,045мм, 0,041мм, відтак середнє значення рівне і середнє квадратичне відхилення значення конусності ВБД шарошок, у додатковому досліді:

$$\bar{y}_d = 0,042, \quad S_d^2 = 3,1 \times 10^{-3}. \quad (4.15)$$

Для знаходження границь, в яких знаходиться істинна величина середнього значення конусності ВБД шарошок визначалися верхня (K_{max}) і нижня (K_{min}) границі довірчого інтервалу:

$$K_{max} = \bar{y}_d + t \frac{S_d}{\sqrt{N}} \quad (4.16)$$

$$K_{min} = \bar{y}_d - t \frac{S_d}{\sqrt{N}} \quad (4.17)$$

де $N=3$ – число повторів додаткового дослідження, $t=4,303$ – квантіль розподілу Стюдента [106], який вибирається залежно від числа вільності $k = N - 1 = 2$.

$$K_{max} = 0,11, K_{min} = 0,094 \quad (4.18)$$

Розрахована величина оцінки середнього значення конусності ВБД у додатковому досліді:

$$\widehat{K} = 0,102 \quad (4.19)$$

Розрахована величина (4.19) знаходиться в межах довірчого інтервалу (4.18), що є основним для прийняття гіпотези про адекватність моделі.

Для перевірки значимості коефіцієнтів в моделі обраховується дисперсію відтворення:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2 = 2,892 \times 10^{-5} \quad (4.20)$$

Дисперсія коефіцієнтів моделі:

$$S_b^2 = \frac{S_y^2}{mN} = 2,41 \times 10^{-6} \quad (4.21)$$

Експериментальні значення критерію Стюдента t_1, t_2 для коефіцієнтів b_1, b_2 , відповідно рівні:

$$t_1 = \frac{|b_1|}{\sqrt{S_b^2}} = 35,484 \quad (4.22)$$

$$t_2 = \frac{|b_2|}{\sqrt{S_b^2}} = 5,161 \quad (4.23)$$

Для встановлення значимості коефіцієнтів моделі необхідно порівняти отримані значення з табличними. Табличне значення критерію Стюдента $t=2,306$ – квантіль розподілу Стюдента [106], який вибирається залежно від числа вільності $k = (m-1)N = (3-1)4 = 8$, та довірчої ймовірності $P_{дов} = 0,95$. Оскільки табличне значення критерію Стюдента менше за експериментальні значення цього критерію (4.22, 4.23) то можна твердити, що всі коефіцієнти моделі значимі. Отже, визначена залежність у визначених межах залишається в

силі. Ця залежність (4.13) дає можливість розрахувати і прогнозувати утворення конусності ВБД шарошок доліт на етапах вибору матеріалів та підготовки виробництва, при призначенні параметрів допусків на механічне оброблення порожнин шарошок.

За допомогою програмного продукту Mathcad була побудована модель залежності середнього значення утворення конусності на ВБД шарошок від досліджуваних факторів (рис. 4.6) [13].

Зокрема, при зростанні значень досліджуваних факторів в заданих межах, спостерігалось різке збільшення величини конусності ВБД шарошок після ХТО (рис. 4.6). При цьому показник прогартовування має приблизно в 6,7 разів більший вплив на виникнення конусності ВБД шарошок порівняно з показником вмісту вуглецю в серцевині сталі шарошки.

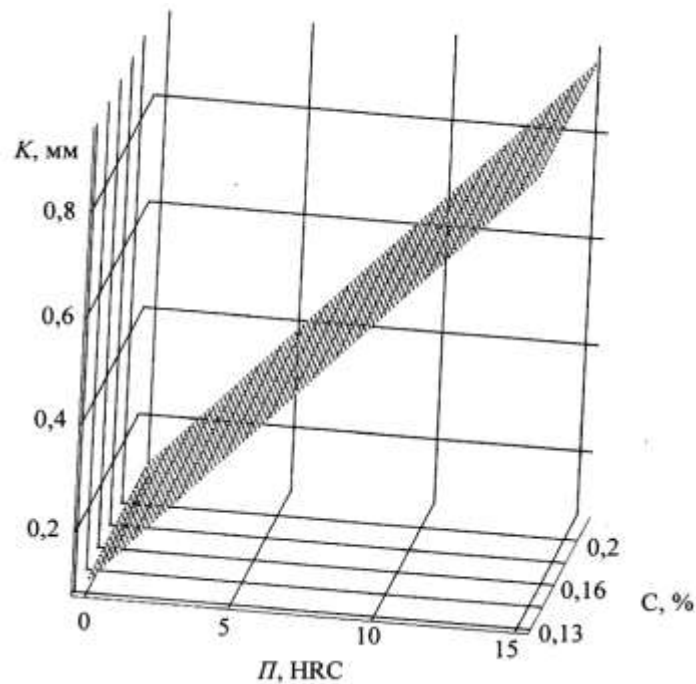


Рисунок 4.6 – Модель впливу прогартовування (HRC) та вмісту вуглецю в серцевині шарошки ($\%C$) на середні значення конусності ВБД (K) шарошок після ХТО

Отримані експериментальні дані показують, що зменшенню деформації сприяє [13]:

Застосування сталей що дають мінімальний перепад значень концентрації вуглецю між поверхневими шарами цементованого шару і серцевиною. Зокрема

вищий вміст вуглецю в сталі 20ХН3А порівняно зі сталлю 14ХН3МА (21%С проти 13%С) забезпечує такі вимоги.

Перспективним є введення вхідного заводського контролю за показником прогартовування, а саме – різниці між твердістю на відстані від торця 6,5мм та на відстані від торця 30мм. При цьому пропонується встановити допустиме значення такої різниці не більшим HRC10.

Проведення нормалізації і високого відпуску замість ізотермічного відпалу при виготовленні заготовок. Обмеження температури нагріву заготовок під шарошку і завершення гарячої пластичної деформації при температурах нижче температур рекристалізації аустенітного зерна ($<1100^{\circ}\text{C}$).

Жорсткий контроль температури підстуджування після цементації, яка повинна дорівнювати $830\pm 10^{\circ}\text{C}$. Температури підстуджування рівні $900\pm 10^{\circ}\text{C}$ за умов експериментальних досліджень виявилися не оптимальними.

Заготовки з плавок сталей через які виникають підвищені відхилення розмірів від номінальних слід піддавати проміжній термічній обробці після їх чорнового токарного оброблення (рекристалізаційний відпал, або високий відпуск).

Перспективним є впровадження точіння на токарному центрі SPV40CNC у розмір перед ХТО звівши до мінімуму фінішні механічні операції після термообробки.

У цілому, можна передбачати, що поєднання всіх вище перерахованих заходів забезпечить сталість деформації і викривлень шарошок в межах до 0,10-0,12мм навіть при несприятливому різкому перепаді розподілу вуглецю та твердості у загартованому перерізі бігових доріжок шарошок бурових доліт.

4.4. Вплив параметрів технологічного процесу на якісні конструкторські показники цапф лап бурових доліт

Технологічний процес виготовлення цапф лап включає виготовлення заготовки – кованки. На цих перших операціях закладаються основні параметри технологічного спадку. Технологічний процес формоутворення опорних поверхонь цапф лап включає токарне механічне оброблення до здійснення якого вису-

вається комплекс жорстких вимог. Ці вимоги стосуються точності дотримання операційних розмірів, зведення до мінімуму конусності та овальності роликів бігових доріжок, уникнення спотворення профілю бігової доріжки замкового кулькового підшипника кочення та ін. [3]. З цією метою вивчали вплив ХТО на відхилення від номінальних розмірів роликів бігових доріжок цапф лап різних типорозмірів бурових доліт. Вимірюванням були піддані партії (в кожній 30 шт.) цапф лап бурових доліт діаметром 215,9мм; 224,5мм; 250,8мм; 295,3мм; 393,7мм. Встановлено характер зміни величини биття поверхонь бігових доріжок цапф лап відносно осі цапфи. Для цього вимірювали биття бігових доріжок до і після ХТО [23].

Отже, результати вимірювання конструкторських елементів цапф лап бурових доліт подано в табл. 4.10-4.14. Зафіксовані відхилення вимагають додаткових затрат на механічне оброблення. Тут оброблення точінням необхідно вести не за один, а за 2, а у деяких випадках у 3 проходи.

Отримані дані показують, що для великої роликів та замкової кулькової бігових доріжок цапф лап секційних бурових доліт досліджуваних типорозмірів значення биття є практично на однаковому рівні.

Таблиця 4.10 – Характер зміни величини биття поверхонь бігових доріжок на цапфах лап (сталь 19ХГНМА-В) бурових доліт діаметром 215,9 мм

Конструктивний елемент цапфи лапи	Показник	Значення показників	
		до ХТО	після ХТО
ВБД	Биття – min, мм	0,040	0,100
	Биття – max, мм	0,120	0,180
	\bar{x} , мм	0,080	0,140
	s	0,0094	0,012
КБД	Биття – min, мм	0,040	0,100
	Биття – max, мм	0,120	0,190
	\bar{x} , мм	0,090	0,150
	s	0,011	0,013
МБД	Биття – min, мм	0,050	0,100
	Биття – max, мм	0,140	0,200
	\bar{x} , мм	0,100	0,170
	s	0,012	0,012

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

Оцінка розсіювання значень розмірів для цих елементів цапфи має також подібний характер. Дещо підвищені значення биття малої бігової доріжки та їхнє розсіювання пояснюються характером технології механічного оброблення цапф лап, а саме тим, що тут застосовується так звана безцентрова технологія (лапа фіксується у спеціальному пристрої, який дозволяє з одного установу виконувати механічне оброблення усіх елементів цапфи лапи) [3].

Таблиця 4.11 – Характер зміни величини биття поверхонь бігових доріжок на цапфах лап (сталь 19ХГНМА-В) бурових доліт діаметром 224,5 мм

Конструктивний елемент цапфи лапи	Показник	Значення показників	
		до ХТО	після ХТО
ВБД	Биття – min, мм	0,020	0,070
	Биття – max, мм	0,120	0,190
	\bar{x} , мм	0,091	0,112
	s	0,011	0,014
КБД	Биття – min, мм	0,030	0,090
	Биття – max, мм	0,100	0,210
	\bar{x} , мм	0,092	0,143
	s	0,011	0,016
МБД	Биття – min, мм	0,070	0,120
	Биття – max, мм	0,160	0,230
	\bar{x} , мм	0,115	0,175
	s	0,012	0,015

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

Порівнюючи значення биття бігових доріжок до ХТО та після ХТО бачимо (табл. 4.10-4.14), що термообробка спричинює їхнє збільшення у середньому до 0,06-0,07мм (цапфи доліт типорозмірів 215,9мм; 224,5мм; 250,8мм). Для цапф доліт типорозмірів 295,3мм; 393,7мм отримано збільшення биття бігових доріжок у середньому до 0,102-0,129мм. Загалом, для цапф лап зі сталі 19ХГНМА-В, можна допустити, що зі збільшенням їхніх габаритів зростає величина биття. Для порівняння здійснено вимірювання биття бігових доріжок на цапфах лап виготовлених зі сталі 21ХГНМА-В (табл. 4.15, 4.16). Механічне оброблення таких цапф виконувалося у центрах.

Таблиця 4.12 – Характер зміни величини биття поверхонь бігових доріжок на цапфах лап (сталь 19ХГНМА-В) бурових доліт діаметром 250,8 мм

Конструктивний елемент цапфи лапи	Показник	Значення показників	
		до ХТО	після ХТО
ВБД	Биття – min, мм	0,030	0,130
	Биття – max, мм	0,120	0,200
	\bar{x} , мм	0,102	0,163
	s	0,011	0,011
КБД	Биття – min, мм	0,050	0,130
	Биття – max, мм	0,160	0,210
	\bar{x} , мм	0,110	0,173
	s	0,011	0,011
МБД	Биття – min, мм	0,080	0,130
	Биття – max, мм	0,118	0,240
	\bar{x} , мм	0,122	0,195
	s	0,012	0,013

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

Таблиця 4.13 – Характер зміни величини биття поверхонь бігових доріжок на цапфах лап (сталь 19ХГНМА-В) бурових доліт діаметром 295,3 мм

Конструктивний елемент цапфи лапи	Показник	Значення показників	
		до ХТО	після ХТО
ВБД	Биття – min, мм	0,060	0,160
	Биття – max, мм	0,140	0,270
	\bar{x} , мм	0,125	0,227
	s	0,011	0,015
КБД	Биття – min, мм	0,070	0,170
	Биття – max, мм	0,170	0,280
	\bar{x} , мм	0,129	0,233
	s	0,012	0,015
МБД	Биття – min, мм	0,100	0,200
	Биття – max, мм	0,200	0,310
	\bar{x} , мм	0,143	0,272
	s	0,013	0,016

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

Аналізом виявлено, що механічне оброблення в центрах дає менші значення биття, а сталь 21ХГНМА-В забезпечує низьку схильність до биття бігових доріжок після їхньої ХТО (табл. 4.15, 4.16).

Таблиця 4.14 – Характер зміни величини биття поверхонь бігових доріжок на цапфах лап (сталь 19ХГНМА-В) бурових доліт діаметром 393,7 мм

Конструктивний елемент цапфи лапи	Показник	Значення показників	
		до ХТО	після ХТО
ВБД	Биття – min, мм	0,080	0,180
	Биття – max, мм	0,170	0,290
	\bar{x} , мм	0,131	0,242
	s	0,0110	0,014
КБД	Биття – min, мм	0,090	0,200
	Биття – max, мм	0,190	0,300
	\bar{x} , мм	0,135	0,255
	s	0,012	0,014
МБД	Биття – min, мм	0,110	0,220
	Биття – max, мм	0,240	0,330
	\bar{x} , мм	0,165	0,293
	s	0,014	0,013

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

Таблиця 4.15 – Характер зміни величини биття поверхонь бігових доріжок на цапфах лап (сталь 21ХГНМА-В) бурових доліт діаметром 295,3 мм

Конструктивний елемент цапфи лапи	Показник	Значення показників	
		до ХТО	після ХТО
ВБД	Биття – min, мм	0,000	0,030
	Биття – max, мм	0,060	0,170
	\bar{x} , мм	0,030	0,070
	s	0,0063	0,012
КБД	Биття – min, мм	0,000	0,040
	Биття – max, мм	0,070	0,180
	\bar{x} , мм	0,035	0,080
	s	0,0069	0,013
МБД	Биття – min, мм	0,000	0,060
	Биття – max, мм	0,090	0,210
	\bar{x} , мм	0,045	0,110
	s	0,0078	0,014

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

Зокрема, для цапф доліт типорозмірів 295,3мм; 393,7мм отримано збільшення биття бігових доріжок у середньому до 0,04-0,07мм. Відтак, сталь

21ХГНМА-В проти сталі 19ХГНМА-В дає в 2,1 разів менші значення биття бігових доріжок цапф лап доліт типорозмірів 295,3мм; 393,7мм. Проте за допомогою балансуєчого пристрою CX Balancer можна досягнути мінімальних відхилень у співвідношенні між елементами опори, що може забезпечити сталість заданого значення шорсткості від R_a 0,25мкм до R_a 0,32мкм. При цьому конусність поверхонь периферійної великої опори підшипника ковзання цапфи лапи також має стале середнє значення 0,01мм при максимумі 0,02мм.

Таблиця 4.16 – Характер зміни величини биття поверхонь бігових доріжок на цапфах лап (сталь 21ХГНМА-В) бурових доліт діаметром 393,7 мм

Конструктивний елемент цапфи лапи	Показник	Значення показників	
		до ХТО	після ХТО
ВБД	Биття – min, мм	0,000	0,050
	Биття – max, мм	0,080	0,200
	\bar{x} , мм	0,040	0,090
	s	0,0079	0,013
КБД	Биття – min, мм	0,000	0,060
	Биття – max, мм	0,090	0,200
	\bar{x} , мм	0,045	0,100
	s	0,0083	0,013
МБД	Биття – min, мм	0,000	0,090
	Биття – max, мм	0,110	0,220
	\bar{x} , мм	0,055	0,125
	s	0,0096	0,014

s – середньоквадратична похибка вимірювань.

4.5. Вплив поверхневого пластичного деформування на якісні показники бігових доріжок опор кочення тришарашкових бурових доліт

Аналізом впливу мікроструктури різних плавок сталі 19ХГНМА-В на її контактну витривалість при обкочуванні встановлено, що наявність карбідів третього балу і вище, а також мінімальна кількість залишкового аустеніту в поверхневих шарах не дозволяють отримати максимального ефекту зміцнення [23]. Тому проведено стендові випробовування експериментальних опор у яких цапфи лап були виготовлені за технологією, що включала таке. Застосовано плавку

сталі 22ХГНМА-В з підвищеними вимогами по чистоті хімічного складу. Цапфа лапи оброблялася точінням в кінцевий розмір, а потім перед ХТО піддавалася ППД.

При складанні опори враховували зменшення розмірів діаметрів бігових доріжок на 0,01мм, чим підвищили точність у дотриманні мінімальних зазорів у опорі. У результаті експериментальна опора зберігала працездатний стан на 49 годині відпрацювання у стендових умовах. Причому перші помітні пошкодження на бігових доріжках цапфи лапи зафіксовано на 43,6 год роботи. Це у 1,41 рази більше за подібні показники для серійних опор. Експериментальна опора також показала більшу стійкість до утворення люфтів, які почали помітно зростати лише з 45 год роботи. Зауважимо, що мікроструктура цементованого шару бігових доріжок цапфи лапи характеризувалася більшою однорідністю (дрібноголкової мартенсит до 1 балу, залишковий аустеніт 1 бал, карбіди 1-2 бали), проти шарів отриманих за серійною технологією, де фіксуються значно більші показники по карбідній неоднорідності. У цілому, на контактну витривалість бігових доріжок експериментальної опори вплинула не тільки структура цементованого шару, а й плавна зміна характеристик міцності від поверхні в серцевину.

Для великої бігової доріжки з поверхневою твердістю HRC62, твердість на глибині цементованого шару 0,12 мм від поверхні становила HRC61, на глибині 0,30 мм – HRC57-58, на половині глибини цементованого шару – HRC53-54, на повній глибині шару – HRC37-38 [23]. Твердість серцевини дорівнює HRC33-34. Відтак, для розробленої технології можна рекомендувати контроль дотримання подібного розподілу твердості по глибині зміцнених шарів цапфи лапи.

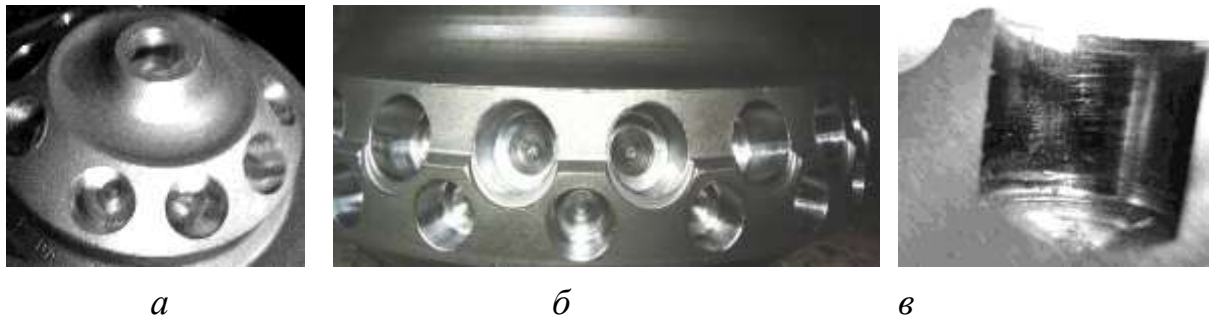
Для підвищення контактної витривалості цапф лап розроблено нову конструкцію опори для бурового долота. У такій опорі виконується сепаратор з композиційного зносостійкого матеріалу (додаток Д) [30]. Здійснено стендові порівняльні випробовування двох секцій доліт діаметром 215мм. Опора №1 виконувалася без сепаратора, за серійною технологією. Опора №2 виконувалася згідно розробленої конструкції із композиційним сепаратором [19], цапфа лапи оброблена точінням у кінцевий розмір та піддана ППД перед ХТО. Секції пропрацю-

вали до повного заклинювання першої. Опора №2 показала на 20% вищу стійкість до заклинювання. Запатентована конструкція пройшла успішне освоєння виробництвом (додаток Е).

4.6. Вдосконалення технології формоутворення отворів під вставне твердосплавне породоруйнівне оснащення у шарошках бурових доліт

Встановлено взаємозв'язки між показниками твердості тіла вінців шарошки й параметрами процесу формоутворення отворів та якістю готових отворів під вставні твердосплавні зубки [15]. З цією метою здійснено експериментальні дослідження із підбору ефективного інструменту для свердління отворів, а також статистично оцінено вплив параметрів розподілу твердості по глибині свердління отворів у вінцях шарошок бурових доліт на величину розбивки цих отворів.

Спочатку відпрацьовували операцію свердління отворів у вінцях шарошок під твердосплавні вставки (рис. 4.7, *а*), а потім оцінювали якість готових отворів (рис. 4.7, *б*) та характер деформацій поверхонь отворів в шарошці (рис. 4.7, *в*) [15]. Результати налагодження операції свердління отворів у шарошках подано в табл. 4.17 [15].



а – отвори просвердлені у вінцях вершини шарошки № 1,

б – типові готові отвори на 2 і 3 вінцях шарошок

в – деформація, притертостей та пошкоджень поверхні отвору в шарошці (×4)

Рисунок 4.7 – Загальний вигляд отворів у вінцях шарошок

Аналізом пошкоджень свердел встановлено, що в основному відбувалося повільне притуплення різальних кромek на гвинтових стрічках. Також фіксували сколювання різальних кромek на стрічках довжиною до 4мм. Встановлено, що свердла можуть зламатися у випадку коли проводиться недостатньо якісний

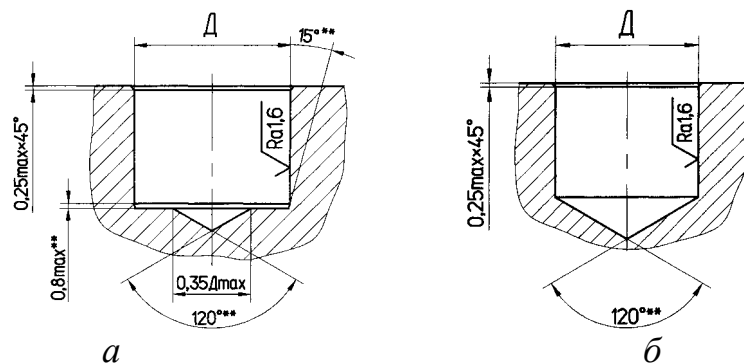
захист від цементациї. Зокрема, свердло діаметром 14,335мм зламалося при свердлінні отвору на основному вінці, який, через незадовільний захист від цементациї, мав твердість HRC49...52.

Таблиця 4.17 – 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

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 $n=1000$ об/хв., подача $s=0,1$ мм/об., швидкість різання $v=45$ м/хв., забезпечується максимальна стійкість (кількість просвердлених отворів одним свердлом збільшилася до 200 – 240шт., а загальна довжина свердління до 2200 – 2640мм).

Розроблено конструкцію отвору під зубок (додаток Н) [29], у якій реалізовано ідею підвищення якості кріплення зубка в шарощі за рахунок введення втулки. Це дозволяє мінімізувати втрати на дорогий різальний інструмент для формоутворення отворів у тілі вінців шарошки, усунути брак через руйнування тіл зубків при їхньому пресуванні, не проводити високоточну операцію підбору дна та розвертання (рис. 4.8) [11]. Розроблену конструкцію отвору успішно застосовано у виробництві доліт (додаток П).



a – отвір для серійних зубків,

б – спрощена конструкція отвору для нових зубків

Рисунок 4.8 – Конструкція отворів під посадку зубків у тіло шарошки [11]

Другим важливим етапом експериментальних досліджень було встановлення характеру розподілу твердості шарошки в ділянці свердління отворів.

В табл. 4.18 подано результати вимірювань твердості по глибині отворів у вінцях шарошок 244,5 ОК-ПГВ-D26 відповідно до прийнятої схеми контрольних точок (рис. 4.9) [15].

Таблиця 4.18 – Таблиця 2 Характер розподілу твердості по глибині отворів у вінцях шарошок 244,5 ОК-ПГВ-D26

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

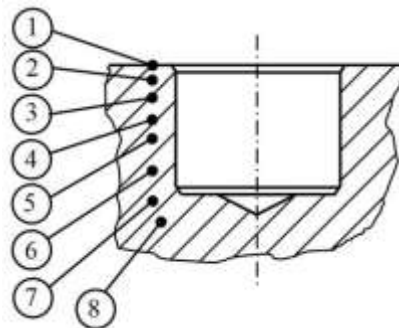


Рисунок 4.9 – Схема контрольних точок для аналізу розподілу твердості по глибині отворів у вінцях шарошки [15]

Оцінювання якості формоутворення отвору під вставні зубки здійснювали плануванням експерименту та пошуком екстремуму [105], де параметром оптимізації є розбивка отвору Δ (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 [15]:

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. 4.19) [15].

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. 4.19) [15].

Таблиця 4.19 – Матриця планування і результати експериментів зі встановлення впливу розподілу твердості в тілі вінців шарошок бурових 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 Δ , мкм	Дисперсія
		42	41	40	39		
[0]		42	41	40	39		
[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

Однорідність отриманих дисперсій перевіряли за допомогою критичного критерію Кохрена:

$$G = \frac{s_{i \max}^2}{\sum_{u=1}^N s_u^2} = 0,133. \quad (4.24)$$

Так як при довірчій імовірності $P_{\text{доє}} = 0,95$, і числі вільності $k_1 = m - 1 = 10 - 1 = 9$, $k_2 = N = 9$ критичне значення критерію Кохрена – $G_{kp} = 0,2659$ [106], 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

$$\Delta = b_0 + \sum_{i=0}^5 b_i x_i, \quad (4.25)$$

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

Коефіцієнти регресії рівняння (4.25) визначаються з виразу

$$b_i = \frac{\sum x_{ij} \Delta_i}{N}, \quad (4.26)$$

де i – номер чинника; j – номер дослідів; 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 Стюдента. Сутність цієї операції ґрунтується 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

$$t_i = \frac{|b_i|}{s\{b_i\}}, \quad (4.27)$$

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:

$$s_B^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i^2 = 13,407. \quad (4.28)$$

Завдяки властивості нормування, оцінки коефіцієнтів знайдені з однаковою дисперсією:

$$s^2 \{b_i\} = \frac{s_B^2}{Nm} = 13,975, \quad (4.29)$$

тоді $s\{b_i\} = 0,394$.

Розрахункові значення коефіцієнта Стьюдента:

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

Оскільки значення критерію Стьюдента $t_T = 1,960$ [106] (вибирається залежно від довірчої ймовірності $P_{\text{дог}} = 0,95$ 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 твёрдосплавні зубки описується рівнянням регресії [15]:

$$\Delta = 16,111 + 1,441x_1 + 0,889x_2 + 1,111x_3 + 1,333x_4. \quad (4.30)$$

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

$$b_i - t_T \cdot s\{b_i\} < b_i^g < b_i + t_T \cdot s\{b_i\}, \quad (4.31)$$

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 [15]:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 15,354 + 0,687x_1 + 0,132x_2 + 0,354x_3 + 0,576x_4, \\ \Delta_2 &= 16,868 + 2,201x_1 + 1,646x_2 + 1,868x_3 + 2,09x_4. \end{aligned} \quad (4.32)$$

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:

$$s_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_i)^2 \quad (4.33)$$

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 (4.30) оцінка дисперсії адекватності здійснена так. Розраховані значення y_i , що відповідає рядкам матриці плану експерименту (табл. 4.20):

$$y_1 = 20,888; y_2 = 15,334; y_3 = 16,444; y_4 = 16,222; y_5 = 16,000; y_6 = 15,778;$$

$$y_7 = 16,888; y_8 = 11,334; y_9 = 17,555;$$

тоді $s_{ad}^2 = 77,693$.

Оскільки $s_{ad}^2 \neq 0$, 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_{ad}^2 і s_B^2 та F – критерію Фішера:

$$F_p = \frac{s_{ad}^2}{s_B^2} = 5,559. \quad (4.34)$$

Табличне значення коефіцієнта Фішера при значеннях числа ступенів вільності $f_2 = N - (\kappa + 1) = 9 - (4 + 1) = 4$ та $f_1 = N(m - 1) = 9(10 - 1) = 81$ довірчої ймовірності $P_{0.05} = 0,95$, $F_T = 5,68$ [106], отже, $F_p < F_T$. Це означає, що за вибраного

рівня п'ятипроцентного відхилення, отримана математична модель (4.30) є адекватна об'єкту дослідження.

З моделі (4.30) випливає, що найбільш сильно розбивка отвору у нецементованих вінцях шарошки залежить від плавності зміни твердості по глибині. На розбивку отворів впливає занижена (нижній рівень) чи завищена (верхній рівень) твердість на поверхні та в ділянці їх дна. Вплив значень твердості на половині глибини отвору співмірний із характером впливу твердості на рівні дна отвору. При значеннях твердості у цих ділянках на нижньому рівні, за умов порівняно більшої твердості в ділянці дна, значення розбивки отвору різко зростає. При значних значеннях твердості біля дна отвору (твердість на верхньому рівні), як і при відпрацьовуванні операції свердління, фіксували затуплення та пошкодження різальних кромки інструменту. Деякі 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 (4.30) 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 [107]. Результати такого руху показано в табл. 4.20 [15].

Таблиця 4.20 – 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 Δ , 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 [δ_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

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

$$K_i = \frac{|b_i \times J|}{|b_i \times J|_{max}}. \quad (4.35)$$

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.

Дослідження показали найкращий результат, мінімальне значення розбивки отвору – 12мкм. Він отриманий при плавному розподілі твердості від поверхні вінця у його глибину [15]: 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.

Отже, експериментально обґрунтовано вибір інструменту для свердління отворів під твердосплавні вставні зубки у вінцях шарошок бурових доліт діаметром 244,5мм, а також встановлені оптимальні параметри процесу свердління [15]. 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. Дещо 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 14ХНЗМА які мають широкий спектр розсіювання значень прогартовування рекомендується [15]:

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.

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, його відмов, раптового руйнування.

4.7. Висновки

1. Експериментально встановлено, що точність та стабільність отримання заданих конструкторських показників бігових доріжок цапфи лапи у єдиному процесі автоматизованого точіння повністю забезпечується на токарному верстаті „DANOBAT” з ЧПК. Така технологія передбачає виконувати всю токарну обробку цапфи лапи з одного установу. Суттєво підвищити точність механічного оброблення цапф лап можна досягнути на верстаті SPV 40 CNC, який проти верстата TV650/4 дає вищу стабільність отримання якості конструкторських параметрів. Функціональні можливості та технологічні показники верстата SPV 40 CNC забезпечують автоматизацію балансування верстатного пристрою CX Balancer з досягненням мінімальних відхилень.

2. Для підвищення контактної витривалості цапф лап розроблено [30] і впроваджено у виробництво нову конструкцію опори для бурового долота. У такій опорі виконується сепаратор з композиційного зносостійкого матеріалу (додатки Д, Е). З метою підвищення якості припрацювання долота, а також забезпечення максимальної стійкості розробленої опори до швидкого утворення

люфтів ефективним є обкочування бігових доріжок цапф лап до ХТО. При цьому складання опор здійснюється з урахуванням зменшених діаметрів обкочених бігових доріжок. Розроблена технологія дає на 20% вищу стійкість до заклинювання.

3. Для забезпечення якості шарошок бурових доліт, на вхідному заводському контролі плавки сталі повинні показувати вміст: Р (до 0,005%), S (до 0,010%), Са (до 0,02%), Al (до 0,01%), V (до 0,05%), W (до 0,20%), Ti (до 0,05%), Си (до 0,25%). Контроль долотної сталі повинен здійснюватися по стандартних фізико-механічних показниках та прогартовуванню, і особливо, на предмет утворення тріщин при гарячому осадженні циліндричного зразка. ХТО повинно забезпечувати плавні градієнти концентрації вуглецю, твердості, а також дрібнозернисту мартенситну мікроструктуру цементованого шару з рівномірно розподіленими карбідами величиною не більше 1-2 балів.

4. На етапі проектування фасованого прокату необхідно враховувати величину усадки при куванні заготовки. Для досягнення високої міцності шарошок і лап при куванні необхідно забезпечувати орієнтацію заготовок в штампах для отримання правильної направленості волокон.

5. Експериментально встановлено, що у єдиному процесі автоматизованого точіння на VSC фірми „EMAG” повністю забезпечується точність та сталість отримання заданих конструкторських параметрів опорних поверхонь шарошок. За умов використання такого обладнання фіксуються незначні похибки: Δ_{ϵ} , Δ_H , Δ_y . В основному значні похибки виникають при виборі різального інструмента, ефективність якого залежить від зносостійкості та конструкційної відповідності до оброблюваної поверхні, що зрештою спричинює збільшення величини систематичної похибки ($\Delta_{сист.}$).

6. Для розроблених нових конструкцій опор ковзання (додаток Ж) [27], кочення (додаток И) [28] доліт розроблено технологію та оптимальні параметри технологічних операцій свердління отворів в упорному торці шарошки на оброблювальному центрі MCV. Вирішено задачу оптимізації параметрів

свердління отворів за критеріями стійкості різання. Це усунуло виникнення браку та поломки інструменту через людський чинник, забезпечило точність та скоротило час на операцію (додатки К, Л).

7. Розроблена технологія автоматизованого механічного оброблення опорних елементів цапф лап та шарошок успішно впроваджена у виробництво тришарошкових бурових доліт (додаток М)

8. З метою спрощення та підвищення технологічності конструкції отворів під вставне породоруйнівне оснащення розроблено конструкцію [29], у якій реалізовано ідею підвищення якості кріплення зубка в шарошці за рахунок введення втулки. При цьому усунуто брак через руйнування тіл зубків при їхньому пресуванні. Конструкція отвору під посадку спростилася, відпала необхідність у проведенні високоточної операції підбору дна та розвірчування, що суттєво зменшило затрати на інструмент та виготовлення доліт. Це дозволило успішно застосувати розроблену конструкцію у виробництві доліт (додатки Н, П).

9. 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. Деякі 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. Розроблена технологія свердління отворів у шарошках під вставне твердосплавне оснащення впроваджена у виробництво бурових доліт (додаток Р).

10. Для нових конструкцій опор доліт розроблено технологію та оптимальні параметри технологічних операцій свердління отворів в упорному торці шарошки на оброблювальному центрі MCV. Вирішено задачу оптимізації параметрів свердління отворів за критеріями стійкості різання. У результаті оптимальними прийнято параметри: частота обертання рівна 750об/хв., а подача - 0,07мм/об (додаток С).

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА ТА АПРОБАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ НА УСІХ ЕТАПАХ ЇХНЬОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

5.1 Принципи забезпечення якості тришарошкових бурових доліт

Споживач зацікавлений не тільки у постійному вдосконаленні існуючих конструкцій і типорозмірів тришарошкових доліт, а також в отриманні нових продуктивних ліній доліт. Однак ризик, пов'язаний з новаторством великий, але й настільки великі і пов'язані з ним матеріальні вигоди. Тому перед долотним виробництвом стоїть дилема: з одної сторони розробляти нові долота необхідно, а з іншої – шансів на успіх новинок невеликий, та й затрати на підготовку виробництва нової техніки є високі. Отже пріоритетом у вирішенні цього повинно стати створення умов для забезпечення якості і підтримання ефективної діяльності та менеджменту, з урахуванням досвіду провідних фірм – виробників доліт та міжнародних стандартах ISO 9000, що включає створення організаційної структури для роботи з новими конструкціями та типорозмірами доліт, проведення випробовувань і максимальна допомога споживачем у прийнятті обґрунтованих рішень на кожному етапі створення доліт [6].

Система якості на основі міжнародних стандартів є головним процесом системи управління розробкою і виготовлення долота, єдиним неперервним та регулюючим процесом, що охоплює всі сторони формування якості долота з урахуванням його життєвого циклу, а саме: довиробничого, виробничого і післявиробничого (рис. 5.1) [6]. При цьому між післявиробничим і довиробничим часом існує тісний зв'язок, що реалізується обміном інформацією між споживачем і виробником. Тут ключовим моментом є освоєння виробництвом нових технологічних процесів виготовлення доліт, що забезпечує сталу якість шляхом створення робочих місць, технічного оснащення, застосуванням сучасних верстатів, інструментів, та процесів всіх ланок і переходів у графіку потоку, які відповідають нормативній документації та існуючим стандартам.



Рисунок 5.1 – Схематична модель петлі якості долота відповідно до міжнародних стандартів ISO 9000 (нове долото* – долото модернізоване чи нової конструкції, типорозміру, або виготовлене за новою технологією, з підвищеними вимогами по точності, якості тощо) [6]

Відповідно до політики якості виробництво комплектується, відповідно до складності процесів, із виконавців робіт заданої кваліфікації, а також забезпечується: технологічною документацією; вихідними матеріалами, сировиною, комп-

лектуючими деталями і складальними одиницями та критеріями оцінки їхньої якості; виробничим обладнанням; технологічним оснащенням та інструментом; програмним забезпеченням; засобами контролю і вимірювання; зразків-еталонів чи виробничих стандартів, що регламентують виконання операцій тощо. Також створюються безпечні умови робочого середовища, дотриманням санітарно-гігієнічних вимог; засобів і заходів що відповідають системі стандартів безпеки праці документації з контролю (інструкцій) та ін.

Ключовим елементом забезпечення якості, як відомо, є створення резервів технологічної точності (резервів якості) – позитивна різниця між величиною допуску і поля розсіювання будь-яких параметрів деталей (складальних одиниць доліт), тобто той запас резерву якості (резерву з підвищення експлуатаційних показників), з яким похибки вписуються у границі поля допуску. Таким чином, при однакових технічних вимогах (стандартах) якість доліт буде вищим там, де є значні резерви технологічної точності [3, 6]. Це можна проілюструвати таким прикладом. Відомо, що існуючі допуски на різних долотних заводах приблизно однакові. Однак довговічність і надійність доліт є різними, зокрема долота фірм „Hughes”, „Smith” володіють одними з найкращих експлуатаційних показників серед конкурентів на світовому ринку доліт, оскільки ці долота виготовляються з максимальними резервами технологічної точності (у деталей доліт мають високу точність форми і вищу якість поверхні, а також конструкторські параметри з мінімальним відхиленням від нормативної документації). Те саме відноситься і до верстатного парку, спеціального оснащення, інструментів, технологічних процесів, рівня інформатизації та комп'ютеризації, автоматизації та ін., що безпосередньо чи не безпосередньо визначає отримання заданої норми точності (володіють потенційними резервами точності). З цією метою на ТОВ „УніБурТех” впроваджено політику сталого забезпечення якості та енергоощадності що включає автоматизацію і комп'ютеризацію всіх процесів від проектування до виготовлення доліт [4].

5.2 Принципи розв'язання проблеми економії долотних сталей при виготовленні заготовок деталей бурових доліт

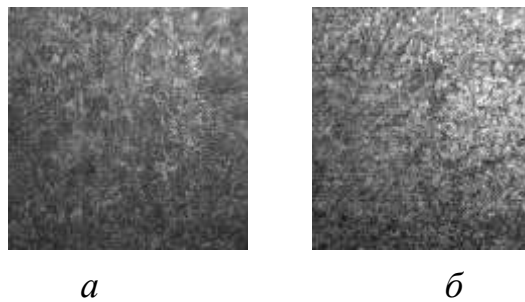
З метою усунення проблеми накопичення металобрухту на виробництві, а також вирішення проблеми економії легованої долотної сталі виправданим є електросталеплавильне плавлення такого металобрухту з метою виготовлення заготовок під деталі доліт. З цією метою апробовано спосіб згідно якого здійснюється заготовка брухту з долотної сталі (некратні залишки прокату, браковані заготовки деталей, фрагменти обрізки при виготовленні кованок, деталі відпрацьованих доліт, темплети і зразки з деталей доліт підданих випробуванням ЦЗЛ). Далі електросталеплавильним способом виготовляються вилівки. Практика такого плавлення показує, що за хімічним складом отримується сталь 20ХГНЗМА. Встановлено [108], що така сталь успішно може застосовуватися для виготовлення лап доліт. Шарошки виготовлені з такої сталі виявляють схильність до крихкого руйнування. Тому здійснено дослідження метою яких було підвищення якості заготовок для виготовлення шарошок.

В розділі 4.3 даної дисертаційної роботи показано сприятливий вплив проведення нормалізації і високого відпуску замість ізотермічного відпалу при виготовленні заготовок доліт, а також обмеження температури нагріву заготовок під шарошку і завершення гарячої пластичної деформації при температурах нижче температур рекристалізації аустенітного зерна ($<1100^{\circ}\text{C}$). Тому здійснено спробу застосувати таку технологію для виготовлення кованок із литої сталі 20ХГНЗМА. При цьому, користуючись даними [3] заготовку піддавали куванню при температурі не нижче 1200°C з деформацією не менше $\epsilon=40\%$.

Для порівняння, фізико-механічні показники сталей серійного прокату, заготовок виготовлених литтям і високотемпературною термомеханічною обробкою (ВТМО) та за експериментальною технологією подані в табл. 5.1 [7]. Оскільки мікроструктура цементованого шару шарошок зі сталі 20ХГНЗМА зміцнених ХТО практично однакова (мартенсит з включеннями карбідів 2-4 бала стандартної шкали), то приведено результати аналізу серцевини шарошок (рис. 5.2).

Таблиця 5.1 – Порівняння фізико-механічних властивостей долотних сталей заготовок виготовлених по різних технологіях

Сталь кованки та спосіб її отримання	Фізико-механічні показники				
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	ψ , %	δ , %	КСУ, Дж/см ²
14ХНЗМА-Ш (серійна – прокат)	1380	1130	62	13	14
20ХНЗА (серійна – прокат)	950	750	55	11	10
19ХГНМА-Ш (серійна – прокат)	1120	860	56	12	10
20ХГНЗМА (лиття + ВТМО + відпуск)	1440	1230	50	14	7,5
експериментальна 20ХГНЗМА (лиття + кування + високий відпуск)	923	784	61	15	12,7



a – сталь 20ХГНЗМА (лиття + ВТМО + відпуск)

б – експериментальна 20ХГНЗМА (лиття + кування + високий відпуск)

Рисунок 5.2 – Мікроструктура серцевини ХТО зміцнених шарошок бурових доліт типорозміру 244,5, які виготовлені з кованок отриманих за різною технологією ($\times 500$)

Поряд з тим, що порівнювані структури є тростосорбітом, тим не менше, сталь 20ХГНЗМА яка піддавалася куванню характеризується більш однорідною та дрібнішою мікроструктурою. Зауважимо, що при випробовуваннях на гаряче осадження циліндричних зразків, виготовлених з литої сталі за експериментальною технологією, не зафіксовано випадків утворення тріщин.

Експериментальні долота, у яких лапи і шарошки були виготовлені з таких заготовок, виявили вищі експлуатаційні показники (табл. 5.2) [7].

Таблиця 5.2 – Порівняння експлуатаційних показників доліт 244,50К-ПГВ при бурінні порід 16 категорії міцності за шкалою М.М.Протодьяконова

Долота	Проходка, м	Механічна швидкість, м/год	Стійкість, год	Ефект збільшення		
				Проходки	Механіч. швидкості	Стійкості
Серійні	213,25	14,32	16,32			
З литої сталі	304	15,9	19,12	1,43	1,11	1,17
З дослідної сталі	432,3	16,57	26,09	2,03	1,16	1,60

Таким чином, виконані дослідження дозволили обґрунтувати ефективність переробки долотного брухту та виготовлення якісних доліт. Технологія виготовлення заготовок під кованки деталей доліт із литої сталі на достатньо доброму рівні забезпечує вимоги щодо якості доліт. Відтак, розроблений спосіб застосування литої сталі з долотного брухту, для виготовлення бурових доліт, дозволяє реалізувати ефект повторного застосування цінної легованої долотної сталі.

5.3 Принципи створення єдиної інформаційної системи реалізації процесів проектування, конструювання, підготовки виробництва і виготовлення деталей тришарошкових бурових доліт

Розроблено новий системний підхід до забезпечення якості та економії матеріалів на основних етапах життєвого циклу тришарошкових бурових доліт [3, 5, 6]. Ключовим моментом такого системного підходу є застосування інформаційних інтегрованих систем та CALS-технологій і процесності для освоєння виробництвом нових технологічних процесів виготовлення доліт. Тут втілено принцип єдиного інформаційного середовища в якому постійно здійснюється виготовлення і ведення, електронний оборот документації, керівних документів тощо. Це дає не тільки максимально мобільне проектування, підготовлення, своєчасне виконання усіх процесів виробництва, а й системний комплексний якісний контроль усіх процесів, у тому числі за [9]:

– високоефективним виконанням усіх процесів пов'язаних зі створенням доліт на довиробничих та виробничих етапах;

- забезпеченням і оновленням верстатного парку, інструменту, а також технологічного, лабораторного й іншого устаткування і обладнання;
- добором вихідних матеріалів, сировини, комплектуючих деталей і складальних одиниць та критеріїв об'єктивної оцінки їх якості;
- виготовленням виробничого обладнання, технологічного оснащення та інструмента;
- добором та виготовленням програмного забезпечення;
- забезпеченням санітарно-гігієнічних вимог та безпечних умов робочого середовища;
- добором засобів і заходів що відповідають ССБП документації з контролю безпеки;
- добором і виготовленням засобів контролю й вимірювання;
- забезпеченням необхідної кваліфікації виконавців робіт;
- добором і виготовленням зразків-еталонів чи виробничих стандартів, що регламентують виконання операцій тощо;
- здійсненням експериментів і випробовувань (зразків, темплетів деталей, дослідних секцій чи доліт тощо).

Все це забезпечує не тільки якість та економію ресурсів на основних етапах життєвого циклу тришарошкових бурових доліт, що відповідає ISO 9000, а й дає стає поліпшення процесів створення і освоєння виробництва конкурентоспроможних тришарошкових бурових доліт задовольняючи жорсткі вимоги API [35]. Високі вимоги висуваються і до системи контролю та випробовувань, як окремих вузлів, так і готових доліт, сертифікації надійності, а також системи організації виробництва, системи керування якістю від проектування до виготовлення і постачання споживачам. Зауважимо, що такий підхід дає можливість ТОВ „УніБурТех” досягти єдиного, визнаного у світовій практиці долотобудування, рівня якості доліт. Ключова роль у такому підході належить вищому керівництву підприємства, що активно стимулює науково-дослідні роботи та здійснює інноваційну діяльність, розробляє стратегію розвитку і політику якості, а також програми для постійного покращення якості й об'єктивної оцінки результатів роботи долотного виробництва.

Відповідно до комплексного підходу у підвищенні довговічності тришарових бурових доліт на усіх етапах їхнього створення [3], розроблено і апробовано в умовах долотного виробництва структури єдиної інформаційної системи підтримки процесів проектування, підготовки виробництва і виготовлення доліт (рис. 5.3), а також системи комплексного підвищення якості доліт на довиробничому та виробничому етапах життєвого циклу тришарових бурових доліт (рис. 5.4) [9]. Це дозволило в комплексі вирішити низку проблем які виникають на етапах створення доліт. Зокрема, при проектуванні нових конструкцій доліт створюються умови максимального врахування ненормованих чинників та підвищення рівня якості вирішення конструкторсько-технологічних задач. Це здійснюється за рахунок підвищення чіткості у постановці задач, точності і визначеності вимог, як до елементів конструкції долота, так і до зібраного долота – готової продукції виробництва. Ключовим елементом тут є база даних яка постійно поповнюється новою інформацією про нові конструкції доліт, моделі, методи, алгоритми, програми для вирішення конструкторсько-технологічних задач, експлуатаційні показники різноманітних конструкцій доліт тощо. Електронна база містить також архів існуючої конструкторсько-технологічної документації на типові конструкції доліт, включно з їх твердотільними 3-D моделями і типовими технологічними операціями які легко модифікуються при розробці нових конструкцій і типорозмірів доліт.

При технологічній підготовці виробництва зведено до мінімуму помилки при проектуванні операцій, зокрема операційних розрахунків і призначення допусків. Для типових конструкцій деталей доліт та їх типорозмірів уніфіковано схеми базування, а також контрольні операції, контрольні-вимірне устаткування, пристрої, інструмент. Це стало можливим за рахунок впровадження системи єдиної конструкторсько-технологічної документації, що забезпечує гнучкий зв'язок між етапами проектування, конструювання і виготовлення типових деталей доліт. Ключовим тут є електронна база креслень – операційних карт з конструкторськими параметри деталей і вузлів долота, технологічними розмірами й базами, вимогами якості, технологічними інструкціями з повним описом типових

операцій і переходів, а також карти налагодження кожної операції, включно з контрольними, для всіх типорозмірів доліт що виготовляються на виробництві.

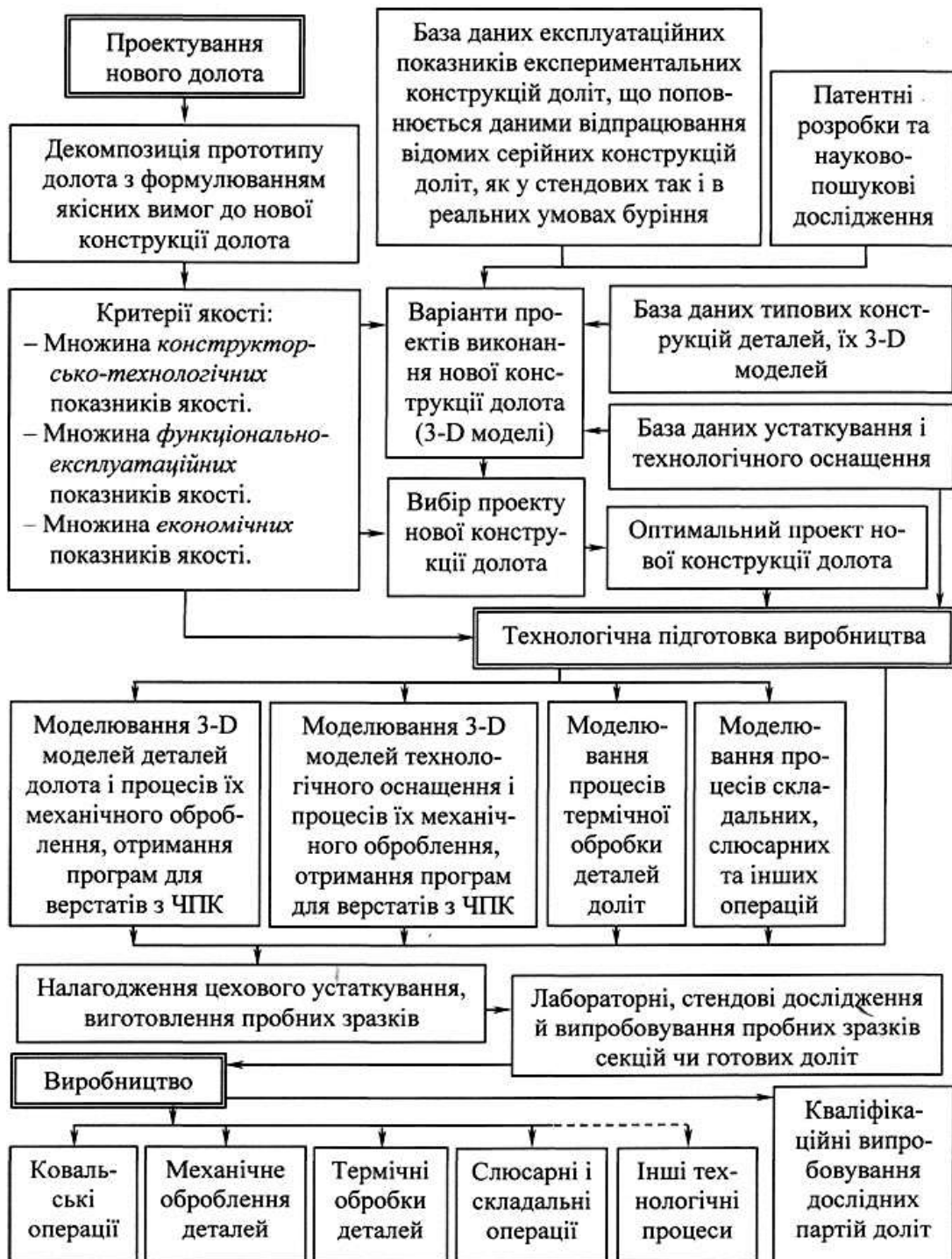


Рисунок 5.3 – Структура єдиної інформаційної системи підтримки процесів проектування, підготовки виробництва і виготовлення тришарошкових бурових доліт [9]

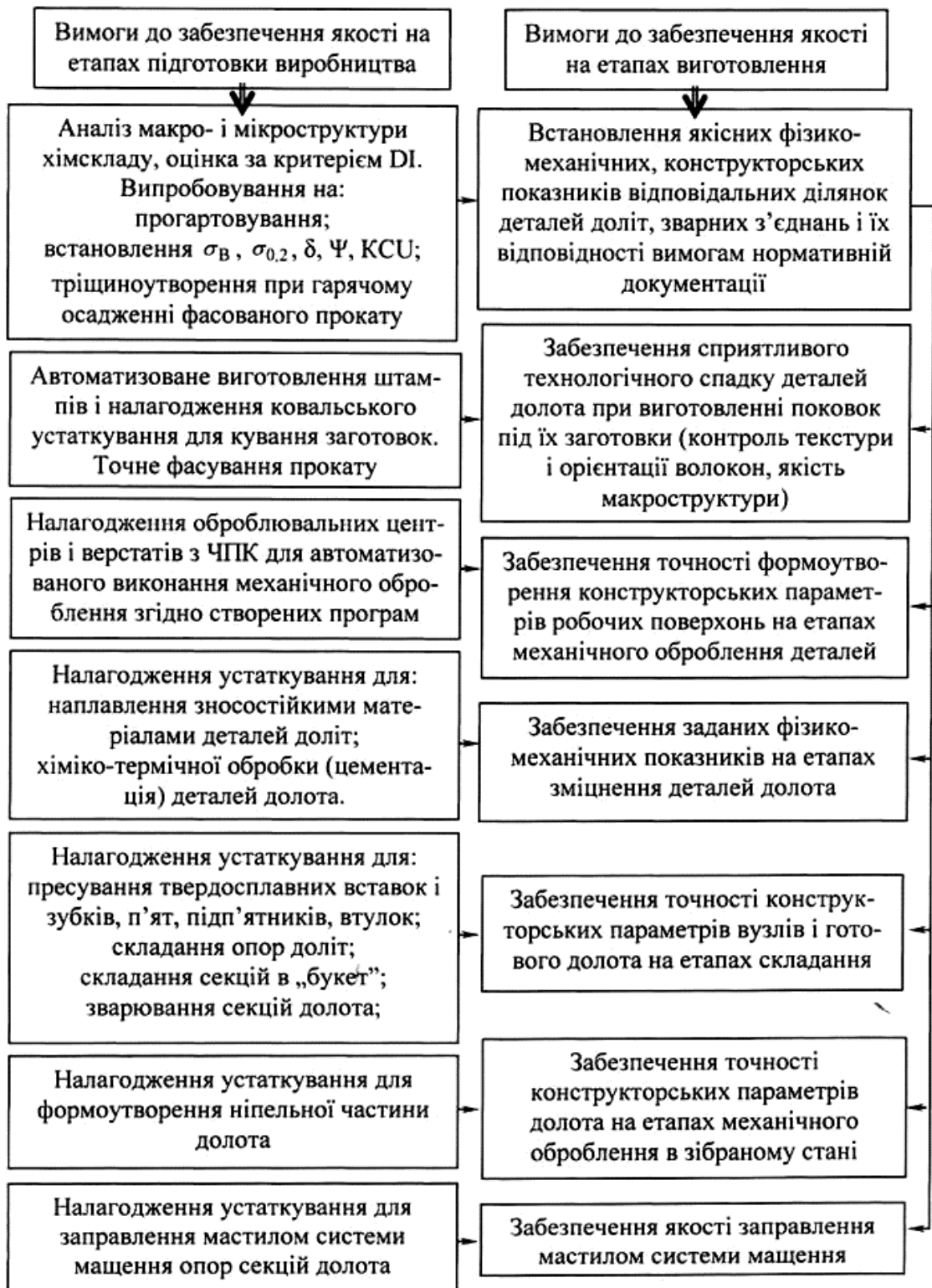


Рисунок 5.4 – Структура реалізації комплексного підходу у підвищенні якості тришарашкових бурових доліт на довиробничому і виробничому етапах [9]

Вся конструкторсько-технологічна документація укладена відповідно до технологічних маршрутів виготовлення долота. Електронна база типових операцій, а також система інструкцій та керівних документів дозволяють чітко

визначити кваліфікаційний рівень забезпечення їхнього якісного виконання згідно єдиного заводського реєстру кадрів.

Проектування процесів дозволяє наперед створювати електронну базу для регулювання руху заготовок, деталей, комплектуючих у єдиному технологічному процесі від „завантаження” до кінцевого продукту – долота. При цьому усуваються проблеми з „вузькими місцями” у русі напівфабрикатів, підвищується ритмічність та інші якісні показники процесів виробництва бурових доліт [9].

Підвищення рівня автоматизації процесів виготовлення доліт, застосування комп’ютеризованих агрегатів для хіміко-термічної обробки шарошок і лап доліт, устаткування для наплавлення зносостійких матеріалів на деталі доліт, верстатів і оброблювальних центрів з ЧПК у поєднанні з впровадженням інформаційної підтримки процесів дає ефект в підвищенні точності операцій та максимальній гнучкості виробництва.

Застосування цехового устаткування оснащеного ЧПК зменшує на порядок кількість технологічних операцій включно з контрольними, які притаманні традиційній технології. Усуваються також проблеми пов’язані з обмеженістю можливостей обладнання і технології.

Підвищені вимоги до кадрового забезпечення процесів позитивно впливає на рівень культури праці, тим самим зменшується кількість порушень правил техніки безпеки і вимог технологічної дисципліни [9].

Ключовими елементами системи є запровадження випробовувань вузлів і готового долота в стендових умовах, що максимально відтворюють реальні умови буріння. Практика регулярних випробовувань дозволяє адекватно і мобільно оцінювати правильність конструкторсько-технологічних рішень та своєчасно коректувати як конструкцію долота так і його технологію виготовлення. Максимальну інформацію для створення нових конструкцій доліт дають кваліфікаційні випробовування дослідних партій доліт та дані отримані від споживачів доліт [9].

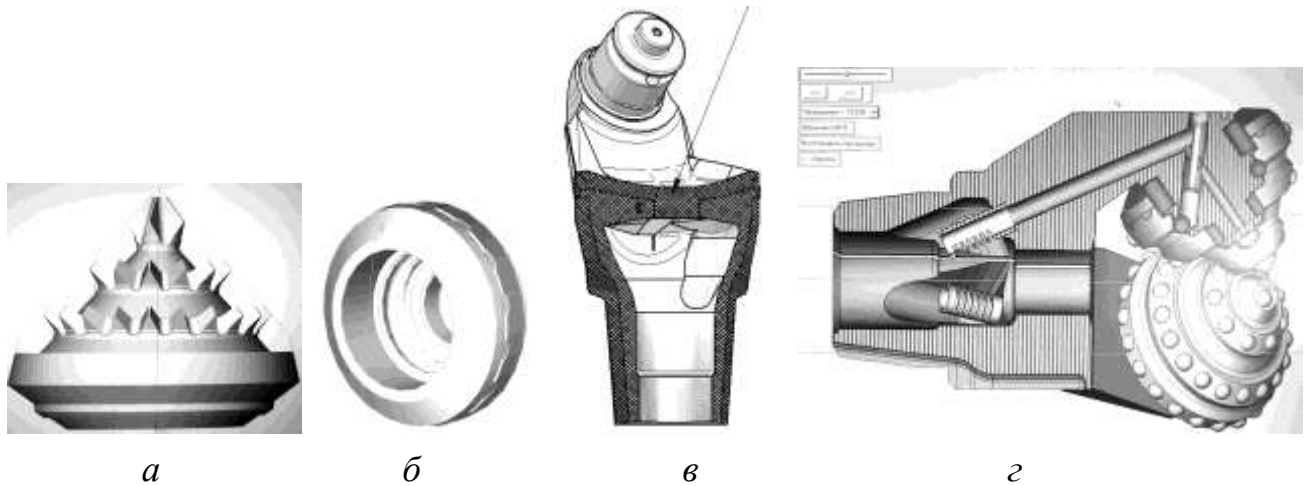
На довиробничому та виробничому етапах життєвого циклу бурових доліт найбільш трудомісткою і проблемною є задача забезпечення заданого рівня досконалості технології виготовлення долота та вирішення комплексу конструкторських

торсько-технологічних задач. Це можна вирішити комплексним впровадженням функціонально орієнтованої технології з інтегрованим інформаційним забезпеченням усіх процесів підготовки виробництва і реалізації технологічних процесів. При цьому необхідне повне переозброєння виробництва на високоточне комп'ютеризоване устаткування й верстати та вискоефективний інструмент [9].

Відповідно до [109], застосування того чи іншого верстату повинно спиратися на високий рівень технологічного обґрунтування і наявну ретельно відпрацьовану технологію, наявність необхідного оснащення, інструменту, комплектуючих, допоміжних матеріалів, програмного забезпечення тощо. Одночасно верстати повинні оснащуватися керуючими комп'ютерами з програмним забезпеченням, яке є сумісним з існуючою на виробництві інформаційною системою і легко інтегрується в автоматизовані процеси [5]. Так, після конструкторського пропрацювання і виготовлення електронної конструкторської документації, у середовищі *Сimatron E* здійснюється проектування, конструювання 3-D моделей деталей долота, штампів під кованки тощо (рис. 5.5, *а, б, в*). Також для підготовки процесів складання долота виготовляються 3-D моделі долота у зборі (рис. 5.5, *г*). Далі, у цьому ж середовищі ведеться підготовка процесів механічного оброблення з автоматизованим отриманням керуючої програми для обробляючих центрів. Такий процес здійснюється шляхом вибору інструмента з електронної бібліотечної бази за параметрами, що відповідають конструкторським параметрам елемента сталевого породоруйнівного оснащення шарошки долота згідно побудованої 3-D моделі [5] (рис. 5.6).

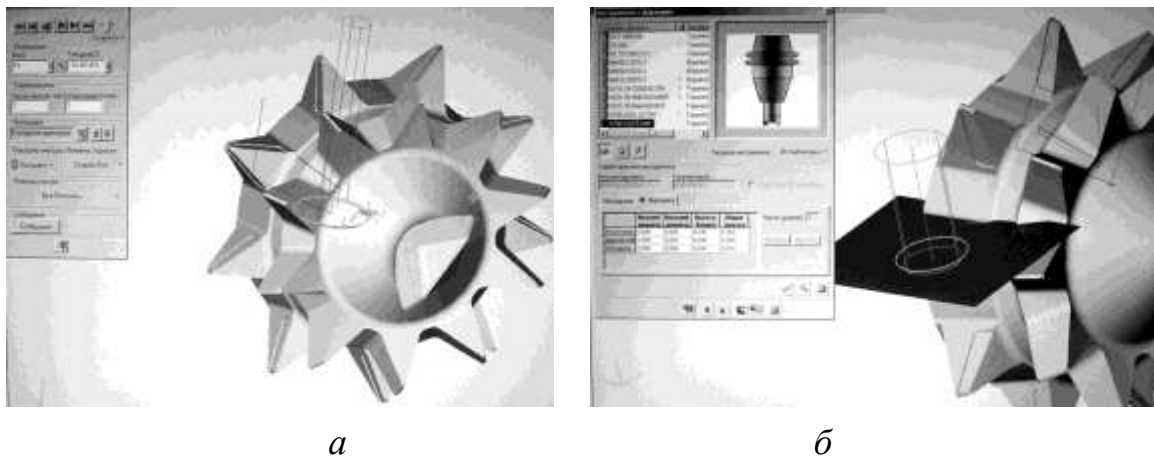
При підготовці виробництва бурових доліт необхідно виготовити штампи для кованки. Найбільш трудомістким і тривалим процесом є виготовлення штампів на кожну конструкцію і типорозмір лап (рис. 5.7).

Процес проектування технологічного процесу і створення робочої керуючої програми здійснюється в декілька етапів. Спочатку завантажується твердотільна модель штампу, отримана на стадії проектування і конструювання для NC-обробки. Далі задаються початкові координати, з яких почнеться рух фрези, і траєкторія руху інструмента по поверхні моделі (рис 5.8, *б*).



- a* – етап моделювання фрезерованого сталевого породоруйнівного оснащення,
б – етап моделювання порожнини шарошки з твердосплавним породоруйнівним оснащенням,
в – етап моделювання лапи долота з герметизованою опорою ковзання,
г – етап моделювання долота з опорою кочення і осьовими підшипниками ковзання та шарошками з вставним породоруйнівним оснащенням

Рисунок 5.5 – Приклади 3-D моделей деталей долота які побудовані в середовищі програмного продукту Сimatron E з метою проектування технологічних операцій механічного оброблення та складання

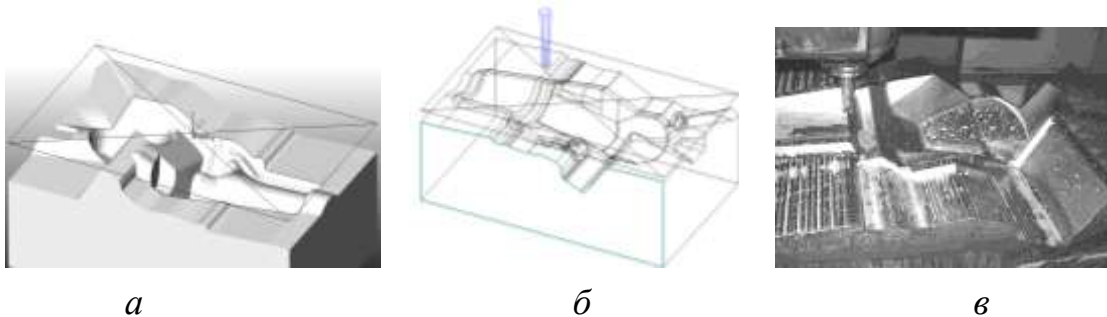


- a* – етап моделювання переходів та руху фрези для формоутворення зубів,
б – етап вибору різального інструмента та моделювання площини його руху
- Рисунок 5.6 – Приклади 3-D моделей для виготовлення програми автоматизованого фрезерування сталевого породоруйнівного оснащення шарошки на оброблювальному центрі моделі MCV



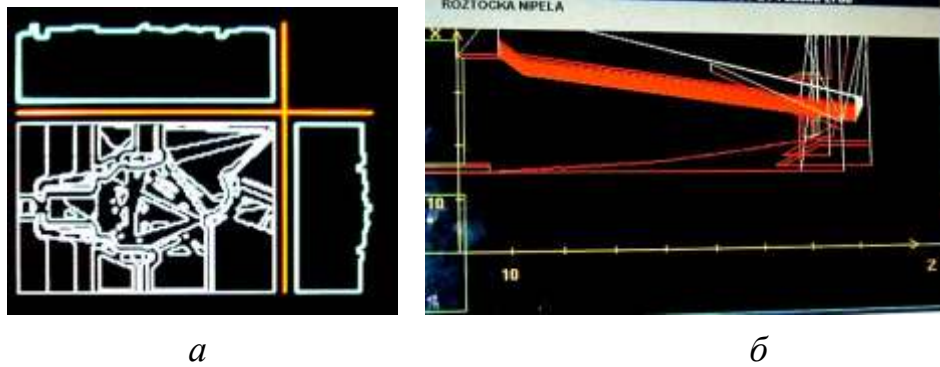
Рисунок 5.7 – Матриця (а) і пуансон (б) для штампування поковки лапи секційного тришарошкового бурового долота [4]

Створення програм для автоматизованого формоутворення штампів також ґрунтується на побудові 3-D моделі штампу. Для цього застосовано спосіб утворення „обтягуючої” поверхні в середовищі програмного продукту Simatрон E (рис. 5.8).



а – етап моделювання конструкції 3-D штампу,
 б – етап моделювання руху інструмента,
 в – етап автоматизованого фрезерування частини штампу під заготовку лапи на
 оброблювальному центрі MCV1000A фірми Kovosvit (Чехія)
 Рисунок 5.8 – Моделювання для отримання програми механічного оброблення і
 його реалізація

Другим важливим аспектом інтегрованих автоматизованих систем є підвищення рівня комп'ютеризації процесів наладки, переналадки і керування процесами впливу на об'єкт технологічного процесу. Так, сумісне з Simatрон E комп'ютерне програмне забезпечення обробляючих центрів та верстатів з ЧПК, – HEIDENHAIN TNC, має діалогові і ISC формати, що дозволяє демонструвати індивідуальні кроки для контролю процесу виконання контуру при лезовому обробленні (рис. 5.9) [5].



a – фрезерування частини штапу для кування заготовки лапи долота, що здійснюється на оброблювальному центрі MCV1000A,
б – розточування ніпельної частини долота в зібраному стані після 20-ти ходів нарізування ніпельної різи, що здійснюється на верстаті SPU

Рисунок 5.9 – Покрокове відображення стану виконання програми механічного оброблення

Отже, створення єдиної інформаційної системи реалізації процесів проектування, конструювання, підготовки виробництва і виготовлення деталей тришарошкових бурових доліт ґрунтується на принципах процесності. Функціонує така система відповідно до розробленої структури єдиної інформаційної системи підтримки процесів проектування, підготовки виробництва і виготовлення тришарошкових бурових доліт. Найбільш відповідальними у підвищенні якості таких доліт є довиробничий та виробничий етапи їхнього життєвого циклу, що вимагає чіткого дотримання структурних рівнів:

1) Встановлення показників і рівнів технологічності термооброблених шарошок та лап бурових доліт. При цьому враховуються деформації та викривлення цих деталей.

2) При проектуванні механічного оброблення цементованих та загартованих шарошок та лап доліт слід призначати допуски зменшенням до мінімуму відхилень середини поля розсіювання їхніх розмірів від номінальних

3) На етапах вхідного заводського контролю із застосуванням поплавкового вибору долотних сталей, а також при проектуванні технологічних процесів цементації та гартувань забезпечувати прогнозовані значення автодеформацій та викривлення деталей доліт.

4) Автоматизоване механічне оброблення елементів опор цапф лап та шарошок здійснювати з урахуванням характеру розподілу авто деформацій, що виникають при термообробках.

5) Складальні операції здійснювати відповідно до принципів мінімальних відхилень та оптимальних параметрів посадок у спряжених та контактуючих поверхнях деталей. Для цього ефективним є розробка селективних методів складальних операцій та відповідна підготовка виробництва.

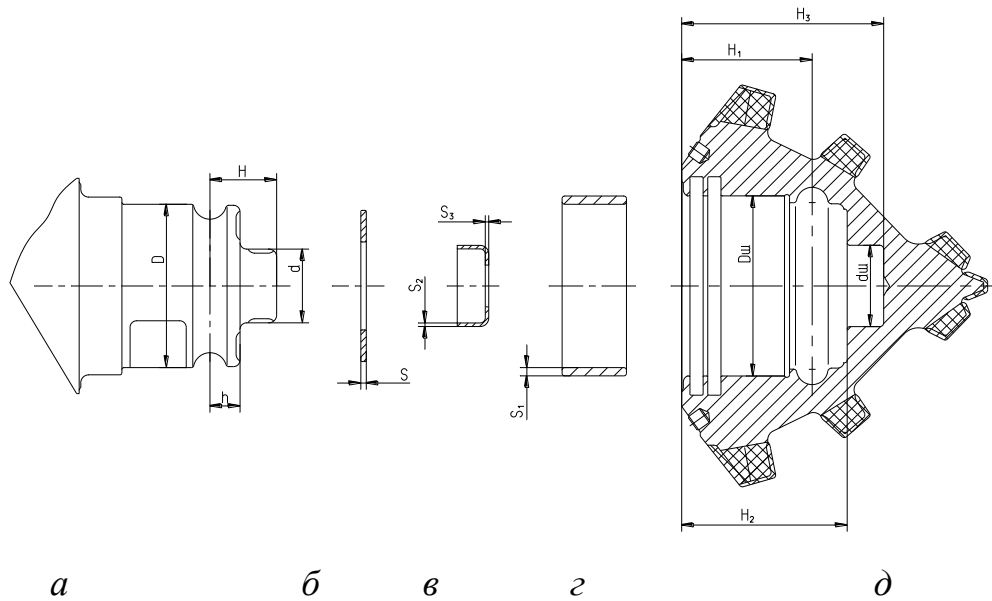
6) Забезпечення якості процесів отримання кінцевих конструкторських параметрів долота та заправлення мастилом опор доліт, консервація й пакування продукції.

5.4 Розробка і освоєння вітчизняним долотним виробництвом технології виготовлення вітчизняних конструкцій доліт продуктової лінії FS

Долота продуктової лінії FS виконуються з опорами, у яких для герметизації застосовано два ущільнюючі кільця, а підшипники ковзання виконуються з спеціальними антифрикційними елементами (рис. 5.10). Практика освоєння виробництвом виготовлення таких доліт стикається не тільки з проблемами забезпечення якісних показників відповідальних поверхонь отриманих механічним обробленням та зміцненням, а й на складальних операціях.

Аналізом характеру відпрацювання доліт продуктової лінії FS встановлено необхідність недопущення передчасного виникнення люфтів і „качання” шарошки, що прискорює розгерметизацію опори. Це можна здійснити підвищенням точності припасування і складання по спряжених поверхнях не тільки по замковому підшипнику кочення, а й по усіх інших елементах опори долота. Тому розроблено і в умовах вітчизняного виробництва доліт на ТОВ „УніБурТех” апробовано спосіб селективного складання комплектів опор секцій доліт.

Для комплектування селективних груп комплектів секцій доліт вибирають лапи, шарошки, плаваючі втулки великої опори, ковпачки і упорні шайби, що мають відхилення від гранично допустимих діаметральних та осьових розмірів: до +0,02мм від максимального значення та до -0,02мм від мінімального значення.



a – цапфа лапи, *б* – антифрикційна упорна шайба торцевого підшипника ковзання, *в* – антифрикційний ковпачок підшипника ковзання малої опори, *г* – антифрикційна плаваюча втулка великої (периферійної) опори, *д* – шарошка
 Рисунок 5.10 – Схема опори тришарошкового бурового долота продуктової лінії FS з позначенням основних параметрів для проектування складальних операцій

Основним критерієм якості виконання селективного складання секцій (ССС) доліт є параметр dR , котрий характеризує різницю радіальних зазорів по великій та малій опорах ковзання

$$dR = \frac{D_{III} - D - 2S_1 - d_{III} + d + 2S_2}{2}, \quad (5.8)$$

де D_{III} – діаметр великої опори ковзання (ВОК) шарошки, D – діаметр ВОК цапфи лапи, S_1 – товщина стінки розрізної втулки – з інтервалом 0,01мм. d_{III} – діаметр малої опори ковзання (МОК) шарошки, d – діаметр малої опори ковзання (МОК) цапфи лапи, S_2 – товщина стінки ковпачка.

Встановлено, що для розглядуваного типу конструкції опор необхідно забезпечити складання в діапазоні -0,04...0мм з розбивкою на групи в межах одного долота (чотири розрахункові групи з кроком 0,01мм).

Розрахунок потреби комплектуючих деталей ведеться виходячи з найкращих варіантів підбору по параметру dR .

Додатково при ССС враховується осьовий зазор dH , по упорному підшипнику ковзання (спряження з упорною шайбою).

$$dH = h + S - (H_2 - H_1) \quad (5.9)$$

де h – віддаль від осі КД до упорного торця цапфи лапи, S – товщина упорної шайби, H_1 – віддаль від торця шарошки до осі КД, H_2 – віддаль від торця шарошки до упорного торця,

Рекомендовані значення цього параметра повинні бути додатними і знаходитись в інтервалі $+0,05 \dots +0,15$ мм. Від'ємні значення не допускаються.

При встановленні селективних груп здійснюють також розрахунок значення dr – радіального зазору у ВОК,

$$dr = \frac{D_{ш} - D - 2S_1}{2} \quad (5.10)$$

та dh – сумарного осьового зазору по торцю МОК.

$$dh = H_3 - H_1 - H - S_3 - (H_2 - H_1) + h + S \quad (5.11)$$

де H – віддаль від осі кулькової доріжки (КД) до торця МОК,

H_3 – віддаль від торця шарошки до торця МОК.

Дані розрахунків dr та dh є інформаційними і в принципі не обмежують умови ССС.

Зауважимо, що замір діаметральних розмірів проводиться в навантаженому перерізі (вздовж осі двогранного кута лапи).

Комплектуючі деталі (розрізні втулки, ковпачки, упорні шайби) вимірюються при проведенні вхідного контролю і розсортовуються по розмірних групах (1-ша зменшена, 2-га нормальна, 3-тя збільшена) в окрему тару (упаковку) з нанесенням бирок з фактичними розмірами груп і позначенням деталі.

Для параметрів: S – товщина упорної шайби, S_1 – товщина стінки розрізної втулки – з інтервалом 0,01мм. Для параметру S_2 – товщина стінки ковпачка – з інтервалом 0,02мм, а саме:

від -0,03мм до -0,01мм включно – 1-ша група;

від -0,01мм до +0,01мм включно – 2-га група;

від +0,01мм до +0,03мм включно – 3-тя група.

На рис. 5.11 подано приклад розсортованих згідно ССС деталей трьох секцій тришарошкового бурового долота.

Успішні стендові випробовування експериментального долота, результати яких описано в [9], дали можливість виготовити пробну партію доліт згідно внесених конструкторсько-технологічних коректив.

Експлуатаційні буріння дослідної партії доліт 215,9FS3UT275 здійснено в умовах Стрийського ВБР на буровій №71 площа Летнянська і буровій №3 площа Добрянська (табл. 5.3) [9].

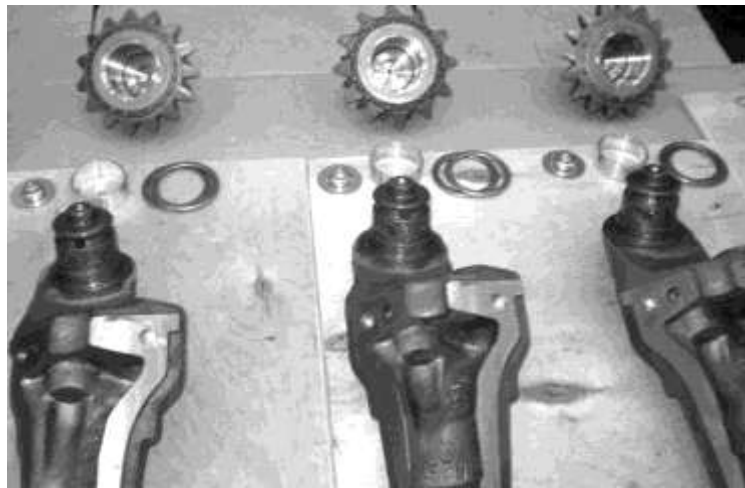
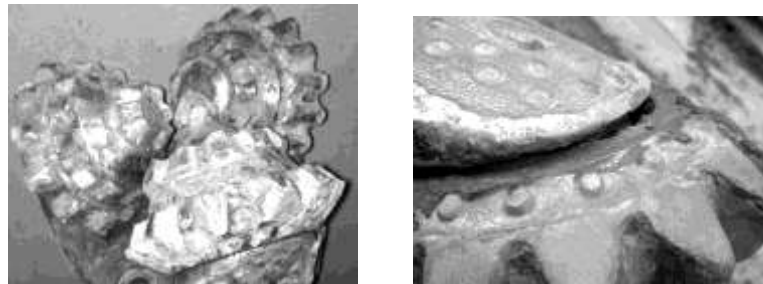


Рисунок 5.11 – Загальний вигляд комплектів деталей (шарошка, антифрикційні ковпачок, шайба і втулка, а також кільця ущільнення, лапа з нанесеним мастилом на цапфу) підготовлені для складання 1, 2, 3 секцій бурового долота

Таблиця 5.3 – Порівняння експлуатаційних показників дослідних доліт 215,9FS3UT275 з найкращими показниками зарубіжного аналогу (частота обертів долота на вибої 60 об/хв.)

№ долота	Інтервал буріння, м	Осьове навантаження на долото, т	Тиск промивної рідини, атм	Прохід, м	Час буріння, год	Механічна швидкість, м/год
1 (Летнянська)	1050 – 1215	12	40	165	67,9	2,43
2 (Добрянська)	1009 – 1140	9	45	131	83,3	1,57
Долото зарубіжного виробництва	880 – 1300	7	50	420	191,5	2,10

При співмірній механічній швидкості дослідні долота показали нижчі експлуатаційні показники порівняно з найкращими показниками аналогічних конструкцій зарубіжного виробника доліт (долото №1 виявило нижчі: проходження у 2,55 разів, час буріння – у 2,82 рази). На експериментальні долота підводилося вище значення осьового навантаження і створювався нижчий тиск промивної рідини, що у свою чергу свідчить про порівняно важчі їх умови роботи. У цілому долота показали вищу зносостійкість калібруючого та захисного оснащення від зносу (загальний знос по діаметру доліт складав 1,8мм). Також не зафіксовано зносу корпусу долота, спинок лап, наплавлених шарів дашків лап. Не було також зафіксованої раптової відмови через заклинювання опори. Зауважимо, що знос наплавлених сталевих зубків на всіх шарошках набув граничного стану і становив 60-75%. Канавки між зубами 2-го і 3-го вінців зношені більше ніж 1-го (рис. 5.12, *а*). У обох долотах виявлено три випадки відколювання напавленого шару із сталевих зубків. Між шарошкою і козирком спинки лапи долота №2 зафіксовано люфт 7-8мм (рис. 5.12, *б*).

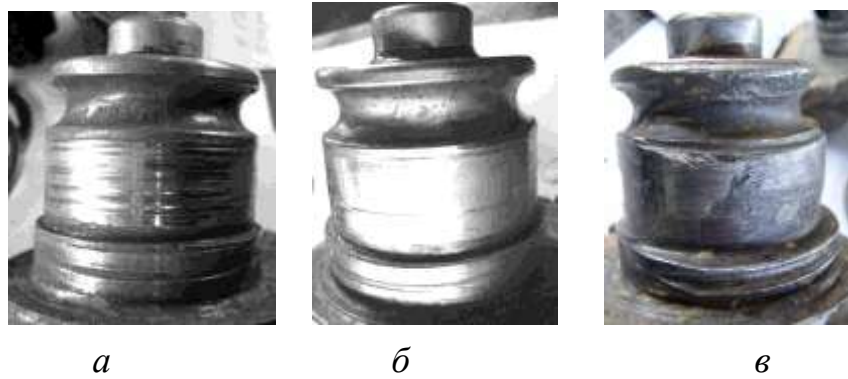
*а**б*

а – зношене породоруйнівне оснащення долота №1,

б – люфт між шарошкою і козирком спинки лапи долота №2

Рисунок 5.12 – Загальний вигляд відпрацьованих елементів дослідних тришарошкових бурових доліт 215,9FS3UT275 [9]

Здійснено також аналіз пошкоджень опор відпрацьованих дослідних доліт (рис. 5.13).



а – цапфа лапи першої секції долота №1,
б – цапфа лапи другої секції долота №2,
в – цапфа лапи третьої секції долота №2,

Рисунок 5.13 – Загальний елементів опор відпрацьованих дослідних доліт [9]

У долоті №1 найбільш пошкодженою виявилася опора першої секції (рис. 5.13, *а*). Тут зауважено незначний знос наплавки стеліту на великому підшипнику ковзання лапи з навантаженої сторони до 0,3мм у вигляді „гребінців”, упорний наплавлений торець в робочому стані. По діаметру цапфи лапи в місці контакту з гумовими кільцями з навантаженої сторони зафіксовано канавку від зносу довжиною 20мм і глибиною до 0,3мм. На внутрішньому діаметрі розрізної втулки сліди зносу у вигляді „гребінців” (знос подібний до зносу поверхні великого підшипника ковзання), зовнішній діаметр у робочому стані. Ковпачок малого підшипника ковзання виявився завальцованим у шарошку і не обертається. Упорна торцева шайба у працездатному стані. Обидва ущільнюючі кільця опори зношені по внутрішньому (контактуючому) діаметру. Як і у решти секцій, на робочих поверхнях замкового підшипника кочення видимих слідів зносу не виявлено, також маслокишеня герметична. Значно більші пошкодження елементів опори встановлено на долоті №2. Тут найбільшого руйнування зазнали опори другої і третьої секції (рис. 5.13, *б-в*), де виявлено буровий розчин у маслокишені і глибокому отворі. У цих опорах також зруйновані ущільнюючі кільця опори по внутрішньому контактуючому діаметру і залишились в пазах шарошки. Типовим для зношення цапф є утворення рівчаків від зносу по спряженні „ущільнення - цапфа” (рис. 5.13). Їхні розміри можуть мати довжину 40-50мм і глибину до 5-6мм. На цапфі третьої секції зафіксоване катастрофічне руйнування із наванта-

женої сторони (рис. 5.13, в): профіль кулькової бігової доріжки розбитий і зміщений у сторону периферійного підшипника ковзання, зміщення периферійного підшипника ковзання. Очевидно такий стан спричинений утворенням люфтів опори через передчасне руйнування і стирання ковпачка малого підшипника ковзання та упорної шайби, фрагменти якої помічено при розбиранні опори. Зауважимо, що працездатний ковпачок малого підшипника ковзання, який хоч і знаходився в шарощі, проте обертався, також задовільний стан упорної шайби був тільки в опорі першої секції. Зауважимо, що в третій секції долота №2, при її розбиранні не виявили слідів антифрикційних елементів підшипників ковзання: ковпачка, втулки, шайби. Очевидно вони повністю зруйнувалися і подрібнилися на дуже дрібні фрагменти, які перемішалися з мастилом і у більшій мірі випали з розгерметизованої опори. Експлуатаційні буріння дослідної партії тришарошкових бурових доліт 295,3 FS4 UT301 здійснено в умовах Шебелинського та Полтавського ВБРів (табл. 5.4, рис. 5.14).

Таблиця 5.4 – Порівняльні дані відпрацювання тришарошкових бурових доліт 295,3 FS4 UT301

Номер долота	Відділення бурових робіт; № свердловини	Інтервал буріння, м	Прохід на долото, м	Час механічного буріння, год	Стан долота
1	Шебелинське ВБР №516 Кігічевська	1653 – 1680	27 м. (серійне)	13,75 год. + проробка 14 год.	Стирання зубків по висоті, люфт в опорах відмова ущільнення опор.
2	Шебелинське ВБР №516 Кігічевська	1347 – 1480	133 м.	77 год.+ проробка 2,5 год.	Стирання зубків по висоті, відмова ущільнення опор.
3	Шебелинське ВБР №516 Кігічевська	1480 – 1653	173 м.	89,5 год. проробка 2,5 год.	Стирання зубків по висоті, відмова ущільнення опор, знос зубків по зовнішньому діаметру.
4	Полтавське ВБР №110 Веснянська	4164 – 4198	34 м. (буріння у солях)	105 год.	Стирання зубків по висоті, відмова ущільнення опор, знос зубків по зовнішньому діаметру.

Аналізом пошкоджень відпрацьованих доліт 295,3 FS4 UT301 встановлені аналогічні пошкодження як елементів опор так і породоруйнівного оснащення.

Отримані дані щодо характеру відпрацювання тришарошкових бурових доліт продуктової лінії FS показали таке. Вітчизняні бурові долота загалом мають дещо нижчі експлуатаційні показники проти найкращих показників зарубіжних аналогів. Тим не менше, при сприятливих (оптимальних параметрах процесу буріння) вітчизняні долота виробництва на ТОВ „УніБурТех” є цілком конкурентоздатними за критерієм ціна-якість.

*a**б**в**г**д*

a – долото дало прохід 27 м при середній швидкості буріння 1м/год,
б – долото дало прохід 133 м. при середній швидкості буріння 1,7м/год,
в – долото дало прохід 173 м при середній швидкості буріння 1,9м/год,
г, д – фіксація зменшення діаметру долота (*a*) та люфтів в опорах (*б*) при проході 34 м за середної швидкості буріння 0,32 м/год

Рисунок 5.14 – Загальний вигляд відпрацьованих експериментальних тришарошкових бурових доліт 295,3 FS4 UT301

Увівши на ТОВ „УніБурТех” єдину інформаційну систему підтримки процесів проектування, підготовки виробництва і виготовлення тришарошкових бурових доліт, а також комплексний підхід до підвищення якості тришарошкових бурових доліт на довиробничому і виробничому етапах їх життєвого циклу вдалося сформувавши новий рівень політики якості усіх процесів, що відповідають світовим стандартам (додаток Т). На даному етапі модернізації та вдосконалення технології виготовлення доліт є ефективним застосування розробленої технології забезпечення якості конструкторських показників при термічному зміцненні та вдосконаленої технології механічного оброблення деталей доліт, а також розробленого способу ССС доліт. Зокрема, долота продуктової лінії FS (однієї з найскладніших конструкцій серед існуючих) виготовлені на ТОВ „УніБурТех” за експериментальною технологією показують збільшення проходу в середньому у 5,6 разів порівняно із серійними. При цьому встановлено, що основними причинами зниження експлуатаційних показників таких доліт не є рівень існуючої технології виготовлення. Тут є низка проблем пов’язаних з вибором зносостійких матеріалів для елементів опори та наплавлення породоруйнівного оснащення. Також існує проблема підвищення досконалості конструкції системи герметизації опор.

5.5 Висновки до розділу

Розроблено і апробовано в умовах долотного виробництва на ТОВ „УніБурТех” (додаток Т) єдину інформаційну систему підтримки процесів проектування, підготовки виробництва і виготовлення тришарошкових бурових доліт. Система ґрунтується на застосуванні інформаційних інтегрованих систем та СALS-технологій і принципу процесності та функціонує відповідно до розробленої структури. Найбільш відповідальними у підвищенні якості тришарошкових бурових доліт є довиробничий та виробничий етапи їхнього життєвого циклу, що вимагає чіткого дотримання взаємопов’язаних структурних рівнів:

- 1) Встановлення якості заготовок – кованок та показників і рівнів їхньої технологічності.

2) Встановлення показників і рівнів технологічності термооброблених шарошок та лап бурових доліт. При цьому враховуються деформації та викривлення цих деталей.

3) При проектуванні механічного оброблення цементованих та загартованих шарошок та лап доліт слід призначати допуски зменшенням до мінімуму відхилень середини поля розсіювання їхніх розмірів від номінальних

4) На етапах вхідного заводського контролю із застосуванням поплавкового вибору долотних сталей, а також при проектуванні технологічних процесів цементації та гартувань забезпечувати прогнозовані значення автодеформацій та викривлення деталей доліт.

5) Автоматизоване механічне оброблення елементів опор цапф лап та шарошок здійснювати з урахуванням характеру розподілу автодеформацій, що виникають при термообробках.

6) Складальні операції здійснювати відповідно до принципів мінімальних відхилень та оптимальних параметрів посадок у спряжених та контактуючих поверхнях деталях. Для цього ефективним є розроблений спосіб селективного складання секцій доліт.

7) Забезпечення якості процесів отримання кінцевих конструкторських параметрів долота та заправлення мастилом опор доліт, консервація й пакування продукції.

ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі на основі проведеного аналізу рівня техніки і технології виготовлення тришарошкових бурових доліт, а також встановленого взаємозв'язку між якісними та експлуатаційними показниками доліт й параметрами технологічних процесів, теоретично обґрунтовано та розв'язано науково-технічну задачу з підвищення ефективності технології виготовлення таких доліт з метою покращення їхньої якості.

2. Теоретично і експериментально обґрунтовано розроблені шляхи у вдосконаленні технології виготовлення бурових доліт, що мінімізує деформацію шарошок та лап. З цією метою встановлено емпіричну залежність, що дозволяє прогнозувати величину утворення конусності великої бігової доріжки шарошок за концентрацією вуглецю та прогартовуванням долотної сталі. Обґрунтовано, що різниця між твердістю на відстані від торця 6,5мм та на відстані від торця 30мм не повинна перевищувати HRC10. Заготовки під шарошки рекомендується кувати при їхньому нагріві до 1100°C і завершувати процес при температурах нижче температур рекристалізації аустенітного зерна. Заготовки піддають нормалізації і високому відпуску. При виявленні схильності плавки долотної сталі до виникнення деформацій шарошок слід заготовки після чорнового точіння піддавати рекристалізаційному відпалу, або високому відпуску.

3. Для підвищення контактної довговічності опор доліт встановлено критерій, що визначає параметри ефективного загартованого цементованого шару за значенням твердості. Зміцнення повинно забезпечувати плавний розподіл значень твердості та концентрації вуглецю від поверхні (HRC60-63 та 0,95-1,1%С) до серцевини бігових доріжок. При цьому в ділянці ефективного цементованого шару, на глибині 1,6-2,2мм, значення твердості та концентрації вуглецю повинні дорівнювати HRC51,5 та 0,45-0,55%С відповідно. З метою підвищення стійкості розробленої опори до утворення люфтів обґрунтовано застосування обкочування опорних поверхонь цапф лап до ХТО. Розроблена технологія дає на 20% вищу стійкість до заклинювання.

4. Експериментально встановлено, що задані конструкторські показники опорних поверхонь для цапфи лапи повністю забезпечується на токарному верстаті моделі TV фірми „DANOBAT”, а для шарошки на VSC фірми „EMAG”. Такі верстати дозволяють застосувати технологію виконання всього механічного оброблення з одного установу у єдиному процесі автоматизованого точіння. Тим не менше, суттєво підвищити точність механічного оброблення можна застосовуючи балансуєчий пристрій CX Balancer. На прикладі автоматизованого точіння цапф лап на верстаті SPV 40 CNC, показано можливості отримання вищої якості конструкторських параметрів оброблених поверхонь проти отриманих на верстаті TV650/4.

5. Для нових конструкцій опор доліт розроблено технологію та оптимальні параметри технологічних операцій свердління отворів в упорному торці шарошки на оброблювальному центрі MCV. Вирішено задачу оптимізації параметрів свердління отворів за критеріями стійкості різання. Це усунуло виникнення браку та поломки інструменту через людський чинник, забезпечило точність та скоротило час на операцію.

6. З метою спрощення та підвищення технологічності конструкції отворів під вставне твердосплавне породоруйнівне оснащення розроблено конструкцію, у якій реалізовано ідею підвищення якості кріплення зубка в шарошці за рахунок введення втулки. При цьому усунуто брак через руйнування тіл зубків при їхньому пресуванні. Конструкція отвору під посадку спростилася, відпала необхідність у проведенні високоточної операції підбору dna та розвірчування, що суттєво зменшило затрати на інструмент та виготовлення доліт.

7. 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. Дещо вищі значення твердості в ділянках від поверхні до половини глибини отвору (HRC42-41), порівняно із твердістю біля його dna (HRC38-37), позитивно впливають на центрування інструмента при різанні.

8. Розроблено і апробовано в умовах долотного виробництва на ТОВ „УніБурТех” єдину інформаційну систему підтримки процесів проектування, підготовки виробництва і виготовлення тришарошкових бурових доліт. Система ґрунтується на застосуванні інформаційних інтегрованих систем та CALS-технологій і процесності та функціонує відповідно до розробленої структури. Тут ключовим моментом є вдосконалена інженерна методика побудови оптимального технологічного маршруту, що відрізняється критеріями оптимальності варіанту технологічного процесу з позицій множини конструкторських, технологічних, функціонально-експлуатаційних, економічних показників якості технологічних операцій. Такими критеріями є мінімальний шлях в дереві графу технологічних маршрутів та умова максимального забезпечення показників якості за умов мінімального шляху в цьому ж дереві графу.

Таким чином, за результатами впроваджень у виробництво в 2014р. отримано сумарну економічну ефективність в розмірі 2,958 млн.грн. (додаток Ф).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яким І. С. Технологічне забезпечення якості механічного оброблення опорних поверхонь шарошок тришарошкових бурових доліт / І. С. Яким // 11-тий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: тези доповідей. (Львів 15-17 травня 2013 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т „Львівська політехніка” [та ін.]. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2013. – С. 174 – 175.
2. Яким І. Вдосконалення технології створення сучасних тришарошкових бурових доліт / І. Яким // 12-тий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: праці. (Львів 28-29 травня 2015 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т „Львівська політехніка” [та ін.]. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2015. – С. 128 – 129.
3. 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.
4. Яким Р. С. Формування якості та експлуатаційних показників тришарошкових бурових доліт на усіх етапах їх створення / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 42. – С. 309 – 314. (опублікована за матеріалами XVIII міжнародної науково-технічної конференції „Машиностроение и техносфера XXI века” (Севастополь 12-17 вересня 2011 г.))
5. Яким Р. С. Процесний підхід до формування якості тришарошкових бурових доліт на етапах їх життєвого циклу / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2011. – № 713. – С. 202-206. (опублікована за матеріалами всеукраїнської науково-технічної конференції „Прогресивні технології в машинобудуванні” (Львів 23-27 січня 2012 р.))

6. Яким Р. С. Забезпечення якості тришарошкових бурових доліт на етапах їх життєвого циклу / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – Вип. 1,2 (43). – С. 338 – 342.
7. Яким Р. С. Технологічне забезпечення якості механічного оброблення цапф лап тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Вісник Севастопольського національного технічного університету: Машино-приладобудування та транспорт: зб. наукових праць – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2012. – Вип. 129. – С. 278 – 283.
8. Yakym R. S. Technological guarantee of quality of mechanical treatment of three-cone rock bit arm pins / R. S. Yakym, I. S. Yakym, Hrytsyk H. O. // Актуальні проблеми сучасної науки: I-а науково-практична конференція викладачів та студентів Інституту фізики, математики, економіки та інноваційних технологій (Дрогобич 16 травня 2014 р.) / М-во освіти і науки України, Дрогобицький держ. пед. ун-т ім. Івана Франка. – Дрогобич: Видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2014. – С. 111-113.
9. Яким Р. С. Підвищення якісних показників тришарошкових бурових доліт з герметизованими опорами ковзання, вдосконаленням технології їх створення / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – № 2 (47). – С. 30 – 41.
10. Яким Р. С. Забезпечення якості тришарошкових бурових доліт на основних етапах їх життєвого циклу / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: тези доповідей 3-ї Міжнародної науково-технічної конференції (Львів 7-9 листопада 2012 р.) / Західний науковий центр НАН України, Фізико-механічний ін-т ім. Г.В.Карпенка НАН України [та ін.]. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2012. – С. 170 – 171.
11. Яким Р. С. Підвищення якісних показників вставного породоруйнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петри-

- на, І. С. Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – № 3 (48). – С. 127 – 138.
12. Яким Р. С. Технологічне забезпечення якості механічного оброблення опорних поверхонь шарошок тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю.Д.Петрина, І. С. Яким // Вісник Севастопольського національного технічного університету: Машиноприладобудування та транспорт: зб. наукових праць – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2013. – Вип. 140. – С. 211 – 215. (збірник включено у наукометричні бази: НБ України ім. В.І.Вернадського; Російського індексу наукового цитування РІНЦ; Серійних видань Ulrich's Periodicals Directory (видавництво Bowker, США), реферативного журналу ВІНІТІ РАН)
 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.
 14. Яким Р. С. Забезпечення якісних конструкторських показників цементованих цапф лап тришарошкових бурових доліт на етапах підготовки їх виготовлення / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2015. – № 3 (56). – С. 27 – 37.
 15. Яким Р. С. Вдосконалення технології виготовлення шарошок з вставним твердосплавним породоруйнівним оснащенням для тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Перспективні технології та прилади – 2014. – № 5 (2). – С. 181 – 188. (<http://ptp2.esy.es>)
 16. Контактна довговічність бігових доріжок цапф тришарошкових бурових доліт / Ю. Д. Петрина, І. С. Яким, Н. В. Крет, Ю. М. Никифорчин // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2015. – № 3. – С. 117 – 120. (**Springer Science + Business Media, Inc**)
 17. Яким Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення якості тришарошкових бурових доліт / Р. Яким, Ю. Петрина, І. Яким // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій: матеріали міжнародної науково-технічної конференції (Тернопіль 19 - 21 травня 2010 р.) / М-во освіти і

- науки України, Нац. Академія наук України [та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ, 2010. – С. 245 – 246.
18. Яким Р. Критерії підвищення якості тришарошкових бурових доліт, які застосовують для буріння особливо міцних порід / Р.Яким, Ю.Петрина, І.Яким // 12-тий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: праці. (Львів 28 - 29 травня 2015 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т „Львівська політехніка” [та ін.]. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. –2015. –С.127–128.
 19. Працездатність полімерного сепаратора опор кочення тришарошкових бурових доліт / Р. Яким, Ю.Петрина, І. Яким, Ю. Павловський // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій: матеріали міжнародної науково-технічної конференції (Тернопіль 19 - 21 травня 2010 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. Академія наук України [та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ, 2010. – С. 114 – 115.
 20. Яким Р. Підвищення довговічності фрезерованого сталевого породоруйнівного оснащення тришарошкових бурових доліт / Р.Яким, Ю.Петрина, І.Яким // 10-тий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: праці. (Львів 25-27 травня 2011 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т „Львівська політехніка” [та ін.]. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. –2011. –С. 79 – 80.
 21. Яким Р. Сучасні підходи у вдосконаленні технології виготовлення тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2013: праці V-ї міжнародної науково-технічної конференції (Київ 28...29 травня 2013 р.) / загальна редакція Р.В. Лютий, І.М. Гурія. / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т України „Київський політехнічний інститут”, Інженерно-фізичний факультет. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2013. – С. 121-122.
 22. Яким Р. С. Прогресивні підходи у вдосконаленні технології виготовлення тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // 11-тий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: тези доповідей. (Львів 15-17 травня 2013 р.) / М-во освіти і науки України, Нац.

- ун-т „Львівська політехніка” [та ін.]. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2013. – С. 175 – 176.
23. Яким Р. С. Прогресивні підходи у вдосконаленні технології виготовлення тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // *Машинознавство*. – 2013, – №9-10 (195-196). – С. 62 – 67.
 24. Increase of contact durability of three – cone rock bit bearings by technological methods / Roman Yakym, Yuriy Petryna, Ihor Yakym, Halyna Hrytsyk // *Laser technologies. Lasers and their application: materials of International Scientific & Technical Conference. (Truskavets, Ukraine 25...27 June 2013 Year) / Western Scientific Centre of NASU and Ministry of Education and Science of Ukraine, Cologne University of Applied Sciences Germany, University of Athens Greece [And others]*. – Drohobych: Drohobych State Pedagogical University named after I. Franko, 2013. – P. 70 – 71.
 25. Яким Р. С. Підвищення якості виготовлення опор тришарошкових бурових доліт призначених для буріння особливо міцних порід / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким // *Нові матеріали і технології в машинобудуванні: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції (Київ 21...22 травня 2015 р.) / загальна редакція Р.В. Лютий, І.М. Гурія. / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т України „Київський політехнічний інститут”, Інженерно-фізичний факультет*. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2015. – С. 154-155.
 26. Microstructure peculiarities of three-cone rock bit carburized components / Yakym R. S., Hrytsyk H. O., Yakym I. S., Mykhailyshyn M. S. // *Актуальні проблеми сучасної науки: збірник другої науково-практичної конференції викладачів та студентів інституту фізики, математики, економіки та інноваційних технологій / за ред. О. Процишин*. – Дрогобич : Видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2015. – С. 104-106.
 27. Пат. 99363 Україна МПК Е 21 В 10/22 (2006.01), F 16 С 17/02 (2006.01) Опора бурового шарошкового долота / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, І.С.Яким (Україна).; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний

- технічний університет нафти і газу. – № а 2010 14066; заявл. 25. 11. 2010; опубл. 10. 08. 2012, Бюл. № 15.
28. Пат. 99530 Україна МПК Е 21 В 10/22 (2006.01) F16С 17/02 (2006.01) Опора бурового шарошкового долота. / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, І.С.Яким (Україна).; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а 2010 15702; заявл. 27. 12. 2010; опубл. 27. 08. 2012, Бюл. № 16.
29. Пат. 99966 С2 Україна МПК Е21В 10/16 (2006.01) Зубок шарошки бурового долота. / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, І.С.Яким (Україна).; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а 201015147; заявл. 16.12.2010; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20.
30. Пат. 71977 Україна МПК Е 21 В 10/22 (2006.01) Бурове шарошкове долото. / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, І.С.Яким (Україна).; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № u 2010 05441; заявл. 05. 05. 2010; опубл. 10. 08. 2012, Бюл. № 15.
31. Буровой породоразрушающий инструмент: международная инженерная энциклопедия. (Международный транслятор-справочник). – Т. 1: Шарошечные долота. / [Барвинок В. А., Баталов С. П., Бикбулатов И. К. и др.]; под науч. ред. В. Я. Кершенбаума, А. В. Торгашова, А. Г. Мессера. – М.: Нефть и газ, 2003. – 257 с. (Серия „Нефтегазовая техника и технология”)
32. Долговечность шарошечных долот / [Жидовцев Н. А., Кершенбаум В. Я., Гинзбург Э. С. и др.]. – М.: Недра, 1992, – 272 с.
33. Дрогомирецький Я. М. Підвищення довговічності шарошкових доліт для низькообертового буріння: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.12 / Дрогомирецький Ярослав Миколайович. – Івано-Франківськ, 1999. – 355 с.
34. Долота шарошкові. Технічні умови (ГОСТ 20692-2003, ІДТ): ДСТУ ГОСТ 20692 : 2004 – [чинний з 2004-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 9 с. – (Національний стандарт України).
35. Specification for Rotary Drill Stem Elements (ISO 10424 – 1: 2004 (Identical)): ANSI/API Specification 7-1. – [Is valid march 2006]. – Washington: American Petroleum Institute, 2006. – 68 с. – (American National Standard).

36. Каинов Д.А. Проблемы построения критериев качества при производстве деталей / Д.А. Каинов // Вестник Национального технического университета Украины „Киевский политехнический институт”. Машиностроение – К.: НТУУ „КПИ”. – 2008. – Вып. 54. – С. 108 – 113.
37. Системи управління якістю. Вимоги: ДСТУ ISO 9001–2001. [Чинний від 2001–01–01]. – К.: Держстандарт України, 2001. – 23 с. (Національний стандарт України).
38. Baker Hughes Mining Tools: Blast hole bit handbook / [Baker Hughes]. – U.S.A. Texas, Houston: A Baker Hughes Company, 1989. – 37 p.
39. Современные шарошечные долота, проблемы их совершенствования и повышения надежности / [Торгашов А. В., Барвинок В. А., Бикбулатов И. К. и др.]; под ред. А. В. Торгашова. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2000. – 190 с.,
40. Неупокоев В. Г. Вопросы теории и практики проектирования, производства и эксплуатации буровых шарошечных долот / Неупокоев В. Г. – Самара: Издательство Самарского научного центра Российской академии наук, 2000. – 376 с.
41. Яким Р. С. Теорія і практика забезпечення якості та експлуатаційних показників цементованих деталей шарошкових бурових доліт: монографія / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина. – Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2011. – 189 с.
42. 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.
43. Контактне руйнування тіл кочення відкритих опор тришарошкових бурових доліт у водних середовищах / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2010. – Том 46. – № 5. – С. 37 – 42.
44. Яким Р.С. Контактна витривалість цементованих поверхонь опор Р-К-Р тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – № 2 (39). – С. 106 – 112.

45. Яким Р. С. Шляхи підвищення довговічності замкового підшипника відкритих опор тришарошкових бурових доліт для високообертового буріння / Р. С. Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. – № 2 (51). – С. 95 – 106.
46. Термическая обработка в машиностроении: справочник / [Арендарчук А. В., Астафьев А. А., Башнин Ю. А. и др.] ; под ред. Лахтина Ю. М., Рахштадта А. Г. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.
47. Сагарадзе В. С. Повышение надежности цементуемых деталей / Сагарадзе В. С. – М.: Машиностроение, 1975. – 216с.
48. Козловский И. С. Химико-термическая обработка шестерен / Козловский И. С. – М.: Машиностроение, 1970. – 230 с.
49. Вдовин А. А. Исследование структуры и твердости штамповки шарошки из стали 14ХНЗМА / А. А. Вдовин, Т. М. Пугачева // Тезисы докладов XXXIII Самарской обласной студенческой научной конференции. Ч.1. Общественные, естественные и технические науки (18-28 апреля 2007 г. Самара) / Министерство культуры и молодежной политики Самарской области; ГУ агентство по реализации молодежной политики; Совет ректоров вузов Самарской области; Самарский областной совет по научной работе студентов. – Самара: ЗАО „Издательский дом Федоров”, 2007. – С. 147 – 148.
50. Желиховская Э. Н. Отжиг с целью оптимизации распределения, размеров и формы карбидной фазы в цементированном слое. / Э. Н. Желиховская, А. С. Заваров, С. В. Грачев // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1989. – № 6. – С. 24 – 26.
51. Кальнер В. Д. Цементация и нитроцементация стали / Кальнер В. Д. – М.: Машиностроение, 1973. – 40с.
52. Elevated temperature toughness and fatigue testing of steels for geothermal Applications: Final Report: BNL Contract № 492267-S, Number of registration: October, 1981, TR 81-97 / R. A. Cutler, E. C. Goodman, R. R. Hendricks (Terra Tek, Inc.), W. C. Leslie (University of Michigan) – [Submitted to: Brookhaven National Laboratory, Attn: Dr. Daniel Van Rooyen]. – New York: Terratek, 1981. – 140 p. (University research park, Salt lake City, Utah).

53. Drilling Engineering Workbook: A Distributed Learning Course / Baker Hughes INTEQ]. – USA, Houston: Training & Development, 1995. – 410. (Confidential 80270H Rev. B. December 1995).
54. Петрина Ю. Д. Розробка науково-прикладних основ підвищення довговічності бурових доліт шляхом раціонального використання матеріалів: дис. ... доктора техн. наук: 05.15.07 / Петрина Юрій Дмитрович – Івано-Франківськ, 1996. – 356с.
55. Ищук А. Г. Сравнительное исследование металлургического качества сталей буровых шарошечных долот отечественного и зарубежного производства: дис. ... кандидата техн. наук: 05.02.01 / Ищук Андрей Георгиевич. – Самара, 2005. – 241 с.
56. Масленников И. К. Буровой инструмент: справочник / Масленников И. К. – М.: Недра, 1989. – 430 с.
57. Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей: справочник / [Белинкий А. Л., Булгаков В. А., Горюшин В. В. и др.] под общ. ред. В. Д. Кальнера. – М.: Машиностроение, 1984. – 384с.
58. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням / [Афтаназів І. С., Гавриш А. П., Киричок П. О. та ін.]. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 516 с.
59. Папшев Д. Д. Эффективность упрочнения цементированных деталей машин / Д. Д. Папшев, А. М. Прошин, А. Б. Кубышкин. // Вестник машиностроения. – 1990. – № 8. – С. 61 – 64.
60. Виноградов А. Н. Повышение качества подшипников на основе формирования рациональных физико-механических свойств контактных поверхностных слоев применением триботехнических методов при финишной обработке: дис. ... доктора техн. наук: 05.02.08 / Виноградов Александр Николаевич. – Саратов, 2008. – 435 с.
61. Богомолов Р. М. Методы повышения эффективности разрушения горных пород при бурении скважин шарошечными долотами: дис. ... доктора техн. наук: 25.00.15 / Богомолов Родион Михайлович. – М., 2001. – 434 с.

62. Долгушин В.В. Развитие методологии моделирования процессов технологии бурения и скважинных механизмов автореф. дис. на соискание ученой степени доктора техн. наук: спец. 25.00.15. „Технология бурения и освоения скважин” / В. В. Долгушин. – Тюмень 2008. – 52 с.
63. Підвищення якості кріплення твердосплавного озброєння шарошкових доліт / Є. І. Крижанівський, І. В. Воєвідко, Г. С. Веселовський, Р. Й. Гук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 4(29). – С. 17 – 21.
64. Сизова Е. И. Повышение долговечности шарошечных долот совершенствованием технологии запрессовки твердого сплава / Е. И. Сизова. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2006. – №4. – С. 225-229.
65. Кремлев В. И. Повышение долговечности буровых шарошечных долот на основе совершенствования технологии сборки и упрочнения шарошек с твердосплавными зубками: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 „Технология машиностроения”/ В. И. Кремлев. – Самара, 2009. – 20с.
66. Акудинов Д.В. Повышение прочности прессовых соединений за счет использования явления схватывания при ультразвуковой запрессовке зубков шарошек буровых долот: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 „Технология машиностроения”/ Д. В. Акудинов. – Самара, 2012. – 20с.
67. Петрина Ю. Д. Аналіз надійності з’єднання „зубок-шарошка” в тришарошкових бурових долотах / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, Т. Б. Пасинович // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 1 (26). – С.48–54.
68. Яким Р. С. Вдосконалення конструкції вставного твердосплавного оснащення тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, Т. Б. Пасинович // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. – № 4 (22). – С. 83 – 91.
69. Крылов К. А. Повышение долговечности и эффективности буровых долот. / К. А. Крылов, О. А. Стрельцова. – М.: Недра, 1983. – 206с.

70. Вплив глибини цементованого шару шарошки на точність форми оброблювального отвору під запресовку зубків / Б.О.Борушак, Ю.Д.Петрина, Л.О.Борушак, В.Т.Ілик // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ – Серія: Нафтогазопромислове обладнання. – Івано-Франківськ. – 1998. – Випуск 36 (Том 4). – С. 100-108.
71. 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.
72. 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.
73. Набатников Ю.Ф. Обеспечение качества соединений „твердосплавная вставка – отверстие” шарошечных буровых долот / Ю. Ф. Набатников, Е. И. Сизова // Горное оборудование и электромеханика. – 2008 . – № 3. – С. 20 – 23.
74. 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.
75. 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.
76. Закиров Н. Н. Теория и практика повышения эффективности работы, надежности и долговечности буровых шарошечных долот: дис. ... доктора техн. наук: 25.00.15, 05.02.13 / Закиров Николай Николаевич. – Тюмень, 2004. – 360 с.

77. Блинков О. Г. Пути повышения эффективности работы буровых шарошечных долот: дис. ... доктора техн. наук: 25.00.15. / Блинков Олег Геннадиевич. – М., 2007. – 356 с.
78. Журавлев А. Н. Разработка теоретических основ и реализация структурно упорядоченной сборки буровых долот: автореф. дис. на соискание науч. степени доктора техн. наук: спец. 05.02.08. „Технология машиностроения” / А. Н. Журавлев. – Самара, 2009. – 40 с.
79. Slim-Hole Technology (1995-1998). – Phase II: Project to Develop and Evaluate Coiled-Tubing Slim-Hole Technology / [Maurer engineering INC]. – Houston, 1998. – 294 p. (The copyrighted 1998 confidential report is for the use of Participants on the Drilling Engineering Association DEA-67; Participants and their affiliates are free to make copies of this report for their own use.)
80. Торгашов А. А. Разработка научно-технических основ обеспечения качества изготовления шарошечных долот повышенной работоспособности: диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени д.т.н. 08.00.20. / Александр Владимирович Торгашов. – Самара 1998. – 74 с.
81. Яким Р.С. Дослідження якості механічного оброблення опорних поверхонь тришарошкових бурових доліт / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, Т. Б. Пасинович // Вісник Севастопольського національного технічного університету: Машинобудування та транспорт: зб. наукових праць – Севастополь: Видво СевНТУ, 2010. – Вип. 107. – С. 234 – 237.
82. Конструкторсько-технологічне забезпечення контактної тривкості опор кочення тришарошкових бурових доліт / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю.Д.Петрина // Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”. Машинобудування. – К.: КТУУ „КПІ”. – 2010. – Вип. 58. – С. 18 – 23.
83. XT® Series Sealed Roller Bearing Bits / [Halliburton]. – H03013 9/09. – 2009. – 2 p.
84. Ли К. Основы САПР. CAD / САМ / САЕ / Ли К., [пер. с англ.] – СПб.: Питер Принт, 2004. – 2004. – 559 с

85. Гавриленко М. В. Совершенствование технологии проектирования и изготовления сложных штампов на основе моделирования процесса их эксплуатации: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.03.05. „Технологии и машины обработки давлением” / М.В. Гавриленко. – Самара, 2006. – 20 с.
86. Львов Б. Г. Использование Стандарта ISO 10303 STEP при описании концептуальных моделей для автоматизированного выявления эвристических знаний конструктора / Б. Г. Львов, Д. А. Чередниченко // Качество. Инновации. Образование. – 2003. – № 3. – С. 56 – 59.
87. Луцкий С. В. Системно-информационный подход к синтезу компьютерно-интегрированных технологий механообработки на этапах жизненного цикла изделий / С.В. Луцкий // Вісник Севастопольського національного технічного університету: Машиноприладобудування та транспорт: зб. наукових праць – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2010. – Вип. 107. – С. 132 – 137.
88. Сизова Е. И. Влияние технологического процесса на качество изготовления шарошечных долот. / Е. И. Сизова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – М.: Изд. Московского гос. горного университета, 2009. – № 3. – С. 376-379.
89. Михайлов А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / Михайлов А. Н. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
90. Никифоров А. Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения / Никифоров А. Д. – М.: Высшая школа, 2006. – 392 с.
91. Теоретичні основи обґрунтованого вибору критеріїв відмов і шляхів підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт / Є. І. Крижанівський, Р.С.Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю.Д. Петрина // Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”. Машинобудування. – К.: КТУУ „КПІ”. – 2009. – Вип. 56. – С. 6 – 13.
92. Создание и совершенствование шарошечных долот для строительства скважин на нефть и газ. / А.В.Торгашов, А.А.Логинов, В.И.Позняков [и др.]. // Нефтепромысловое машиностроение: обзорная информация. – Серия ХМ-

3. – М.: Центральный институт научно-технической информации и технико-экономических исследований по химическому и нефтяному машиностроению (ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ), 1990. – 49 с.
93. Солонин И.С. Математическая статистика в технологи машиностроения. / Солонин И.С. – М.: Машиностроение, 1972 – 215 с.
94. Комар Р.В. Обґрунтування параметрів патрона для нарізання різі / Р.В. Комар, Т.С. Дубиняк, І.С. Яким, М.І. Марчук // Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарські машини ім. П. Василенка. – Харків, 2016. – Вип. 168. – С. 80-84.
95. Белоусов А.П. Проектирование станочных приспособлений. – М.: Высшая школа, 1980. – 342 с.
96. Дичковський М.Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки. Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя. 2001 – 271 с.
97. Карпусь В.Є. Призначення режимів різання двоступінчастим свердлом [Текст] / Карпусь В.Є., Іванова М.С., Чукарін О.В. // Вісник НТУ "ХП" : Технології в машинобудуванні. - 2010. - № 49. – С. 92-96.
98. Бабаков И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. – М. : Наука, 1965. – 560 с.
99. Рогатинський Р. М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія / Р. М. Рогатинський, І. Б. Гевко, А. Є. Дячун. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 280 с.
100. Зайцев В. Ф. Метод разделения переменных в математической физике / В. Ф. Зайцев, А. Д. Полянин. – СПб., 2009. – 92 с.
101. Беляев Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М. : Наука, 1976. – 608 с.
102. Брюханов А. Н. Ковка и объемная штамповка / Брюханов А. Н. – [изд. 2-е, перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1975. – 408 с.
103. Патент 96644, Україна, МПК² Е 21 В 10/10 (2011.01). Стенд для випробовувань секцій шарошкових доліт / Є. І Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина. – Опубл. 25.11.2011; Бюл. № 22.

104. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Корн Г., Корн Т. – [4-е изд.]; перев. со второго американского переработанного издания И.А.Арамановича, А.М.Березмана, И.А.Вайнштейна и др.; под ред. И.А.Арамановича. – М.: Наука, Главная ред. физ-мат. литерат., 1978. – 832 с.
105. Петрина Ю. Д. Основи наукових досліджень для інженерів: навч. посіб. для вищих технічних закладів освіти / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким. – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 153с.
106. Большев Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. – М.: Наука, 1965. – 464 с.
107. Винарский М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарский, М. В. Лурье. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.
108. Вплив технологічного спадку на стійкість шарошкових бурових доліт / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський, Ю. Д. Петрина // Машинознавство. – 2008. – № 5. – С.12–17.
109. Базров Б. М. Концепция совершенствования станочного оборудования и его производства / Б. М. Базров // Вестник машиностроения. – 2004. – № 2. – С. 38 – 42.

ДОДАТКИ

Додаток А

Базовий і експериментальний технологічний процес виготовлення лапи 250,8 ТКЗ-ПГВ-Д27 (без кодів і номерів операцій)

№	Базовий техпроцес з мехобробкою в центрах з вставною п'ятою		Експериментальний техпроцес з безцентровою мехобробкою з вставною п'ятою	
	Основні операції	Модель верстата	Основні операції	Модель верстата
1	Штампуння заготовки		Штампуння заготовки	
2	Високий відпуск		Високий відпуск	
3	Фрезерування торця хвостовика	ГФ-1781	Фрезерування торця хвостовика	ГФ-1781
4	Точіння спинки лапи по радіусу попередньо	9М14	Точіння спинки лапи по радіусу попередньо	9М14
5	Фрезерування площини двогранного кута попередньо	ГФ915	Фрезерування площини двогранного кута попередньо	ГФ915
6	Точіння спинки лапи по радіусу кінцево	9М14	Точіння спинки лапи по радіусу кінцево	9М14
7	Свердління отвору під технологічний штифт	2А135	Свердління отвору під технологічний штифт	2А135
8			Обточування цапфи начисто, прорізування канавки на упорному торці, свердління центрального отвору на торці цапфи	SPV40 CNC
9	Свердлити 2 центрові отвори.	ХА6243	-	
10	Обточити цапфу попередньо, кінцево	TV650/4		
11	Прорізка канавки під продувку і підрізка бурта.	СМ-841	-	
12	Проточити бігові доріжки попередньо.	СМ-298	-	
13	Проточити бігові доріжки начисто.	СМ-298	-	
14	Свердління гідроканалу	МCFV1260	Свердлити гідроканал.	МCFV1260
15	Свердлити отвір під цвях.	2А135	Свердлити отвір під цвях.	2А135
16	Фрезерування пазів з двох сторін на упорному торці	6Н13П	Фрезерування пазів з двох сторін на упорному торці	6Н13П
17	Фрезерування дашка по радіусу	6Н13П	Фрезерування дашка по радіусу	6Н13П
18	Наплавлення упорного торця		Наплавлення упорного торця	
19	Механічне оброблення наплавленого торця	ХШ4-105	Механічне оброблення наплавленого торця	ХШ4-105
20	Свердління отвору під замковий палець.	2Н135	Свердління отвору під замковий палець.	2Н135
21	Свердління отворів системи мащення і охолодження	2А135	Свердління отворів системи мащення і охолодження	2А135
22	Наплавлення дашка і правої бічної поверхні спинки		Наплавлення дашка і правої бічної поверхні спинки	
23			Обточування бігових доріжок цапфи лапи	1К62
24	Цементация, I-е гартування, високий відпуск.		Цементация, I-е гартування, високий відпуск.	
25	Свердління отвори на спинці лапи	МСV-1000	Свердління отвори на спинці лапи	МСV-1000
26	II-е гартування, низький відпуск.		II-е гартування, низький відпуск.	
27	Шліфувати упорний торець начисто	ХШ4-105	Шліфувати упорний торець начисто	ХШ4-105
28	Шліфувати радіусну доріжку начисто.	ХШ1-05	-	
29	Шліфувати велику бігову доріжку начисто.	ХШ1-38	-	
30	Шліфувати малу бігову доріжку начисто.	ХШ1-05	-	
31	Шліфувати торець цапфи.	ЗБ722	-	
32	Фрезерування поверхні двогранного кута	ГФ1480	Фрезерування поверхні двогранного кута	ГФ1480

Продовження додатку А

33	Механічне оброблення отвору під п'яту і прорізування пазів на торці цапфи	MCFV-1260	-	
34	Пресування п'яти		Пресування п'яти	
35	Механічне оброблення упорного торця і фаски на упорному торці	MCFV-1260	Механічне оброблення упорного торця і фаски на упорному торці	MCFV-1260
36	Шліфування торця запресованої п'яти	3Б722	Шліфування торця запресованої п'яти	3Б722
37	Пресування зубків на спинці		Пресування зубків на спинці	
38	Контрольна		Контрольна	

Базовий і експериментальний технологічний процес виготовлення лапи 215,9 FS3 UT275 (без кодів і номерів операцій)

№	Базовий техпроцес з мехобробкою в центрах з вставною п'ятою		Експериментальний техпроцес з безцентровою мехобробкою з вставною п'ятою	
	Основні операції	Модель верстата	Основні операції	Модель верстата
1	Штампування заготовки		Штампування заготовки	
2	Високий відпуск		Високий відпуск	
3	Фрезерування торця хвостовика	ГФ-1781	Фрезерування торця хвостовика	ГФ-1781
4	Точіння спинки лапи по радіусу попередньо	9M14	Точіння спинки лапи по радіусу попередньо	9M14
5	Фрезерування площини двогранного кута попередньо	ГФ915	Фрезерування площини двогранного кута попередньо	ГФ915
6	Точіння спинки лапи по радіусу кінцево	9M14	Точіння спинки лапи по радіусу кінцево	9M14
7	Свердління отвору під технологічний штифт	2A135	Свердління отвору під технологічний штифт	2A135
8			Обточування цапфи начисто, прорізування канавки на упорному торці, свердління центрального отвору на торці цапфи	SPV40 CNC
9	Свердлити 2 центрові отвори.	XA6243	-	
10	Обточити цапфу попередньо, кінцево.	TV650/4	-	
11	Прорізка канавки під продувку і підрізка бурта.	CM-841	-	
12	Проточити бігові доріжки попередньо.	CM-298	-	
13	Проточити бігові доріжки начисто.	CM-298	-	
14	Свердління гідроканалу	MCFV1260	Свердління гідроканалу	MCFV1260
15	Свердлити отвір під цвях.	2A135	Свердлити отвір під цвях.	2A135
16	Фрезерування пазів з двох сторін на упорному торці	6H13П	Фрезерування пазів з двох сторін на упорному торці	6H13П
17	Фрезерування дашка по радіусу	6H13П	Фрезерування дашка по радіусу	6H13П
18	Наплавлення упорного торця великої, малої роликової поверхні, п'яти		Наплавлення упорного торця великої, малої роликової поверхні, п'яти	
19	Обточування цапфи начисто	TV650/4 „DANOB AT”	Обточування цапфи начисто	SPV40 CNC CX Balancer
20	Свердління отвору під замковий палець.	2H135	Свердління отвору під замковий палець.	2H135
21	Свердління отворів системи мащення і охолодження	2A135	Свердління отворів системи мащення і охолодження	2A135

Продовження додатку А

22	Наплавлення дашка і правої бічної поверхні спинки		Наплавлення дашка і правої бічної поверхні спинки	
23	Цементация, I-е гартування, високий відпуск.		Цементация, I-е гартування, високий відпуск.	
24	Свердління отвори на спинці лапи	МСV-1000	Свердління отвори на спинці лапи	МСV-1000
25	II-е гартування, низький відпуск.		II-е гартування, низький відпуск.	
26	Шліфувати упорний торець начисто	XIII4-105	-	
27	Шліфувати радіусну доріжку начисто.	XIII1-05	-	
28	Шліфувати велику бігову доріжку начисто.	XIII1-38	-	
29	Шліфувати малу бігову доріжку начисто.	XIII1-05	-	
30	Шліфувати торець цапфи.	3Б722	-	
31	Фрезерування поверхні двогранного кута	ГФ1480	Фрезерування поверхні двогранного кута	ГФ1480
32	Механічне оброблення упорного торця і фаски на упорному торці	МСFV-1260	Механічне оброблення упорного торця і фаски на упорному торці	МСFV-1260
33	Пресування зубків на спинці		Пресування зубків на спинці	
34	Контрольна		Контрольна	

Базовий і експериментальний технологічний процес виготовлення шарошки 244,5OK-ПГВ

	Базовий техпроцес		Експериментальний техпроцес	
№	Основні операції	Модель верстата	Основні операції	Модель верстата
1	Штампування заготовки	Прес	Штампування заготовки	Прес
2	Високий відпуск	Електропіч	Високий відпуск	Електропіч
3	Розточування внутрішньої порожнини	1740РФ3	Розточування внутрішньої порожнини	VSC «EMAG»
4	Цементация, високий відпуск.	IPSEN	Цементация, високий відпуск.	IPSEN
5	Обточування переднього і калібруючого конусів, прорізування міжвінцевих канавок	Хайнумат Р2	Обточування переднього і калібруючого конусів, прорізування міжвінцевих канавок	Хайнумат Р2
6	Фрезерування площадки в шарошках / зріз вершини шарошки №I.	6Н83	Фрезерування площадки в шарошках / зріз вершини шарошки №I.	6Н83
7	Свердління отворів рядів	AM-8167M	Свердління отворів п рядів	МСV1000A
8	Калібрування отворів рядів 2 - 6	2Н135	-	-
9	Гартування, низький відпуск	IPSEN	Гартування, низький відпуск	IPSEN
10	Зенкування отворів рядів	2118	-	-
11	Розвірчування отворів рядів	VS-32M	Розвірчування отворів рядів	VS-32M
12	Пресування зубків рядів	Прес 6324	Пресування зубків рядів	Прес 6324
13	Низький відпуск	IPSEN	Низький відпуск	IPSEN
14	Механічне оброблення внутрішньої порожнини	СШ-102	Механічне оброблення внутрішньої порожнини	СШ-102
15	Розвірчування отвору під під'ятник	2Н135	Розвірчування отвору під під'ятник	2Н135
16	Пресування під'ятника в отвір	Прес 6324	Пресування під'ятника в отвір	Прес 6324
17	Механічне оброблення під'ятника	BC3-19	Механічне оброблення під'ятника	BC3-19
18	Контрольна		Контрольна	

Продовження додатку А

Базовий і експериментальний технологічний процес складання (селективне) секції 215,9FS3UT275

	Базовий техпроцес		Експериментальний техпроцес (селективне складання)	
№	Основні операції	Модель верстата	Основні операції	Модель верстата
1	Підготовка шарошки до складання	Слюсарний стіл, складальний пристрій	Розсортування по 3 розмірних групах шарошок, лап та комплектуючих втулок, шайб, ковпачків	Слюсарний стіл, складальний пристрій
2	Підготовка лапи до складання	-	Підготовка шарошки до складання	-
3	Підготовка комплектуючих: втулки, ковпачки, шайби	-	Підготовка лапи до складання	-
4	Вибивка замкового пальця	-	Підготовка комплектуючих: втулки, ковпачки, шайби	-
5	Встановлення роликів в бігову доріжку шарошки	-	Вибивка замкового пальця	-
6	Встановлення комплектуючих втулок на цапфу лапи	-	Встановлення роликів в бігову доріжку шарошки	-
7	Встановлення лапи цапфою в шарошку	-	Встановлення комплектуючих втулок на цапфу лапи	-
8	Запуск кульків в замковий отвір з прокручуванням лапи	-	Встановлення лапи цапфою в шарошку	-
9	Встановлення замкового пальця	-	Запуск кульків в замковий отвір з прокручуванням лапи	-
10	Свердління та штифтування замкового пальця	-	Встановлення замкового пальця	-
11	Контрольна	-	Свердління та штифтування замкового пальця	-
12			Контрольна	-

Додаток Б

Розрахунок похибок токарного оброблення великої роликвої бігової доріжки $\varnothing 153,73^{+0,25}$ шарошки бурового долота РТБ-490 ТЗ

№	Формули та розрахунок похибок оброблення на радіус	Параметри, що впливають на похибку оброблення	Значення параметрів та джерело інформації
1	2	3	4
1	$\Delta'_{\epsilon_R} = \frac{a'}{2} = \frac{0,008}{2} = 0,0025 \text{ мм};$ $\Delta''_{\epsilon_R} = \frac{a''}{2} = \frac{0,02}{2} = 0,0045 \text{ мм};$ $\Delta_{\epsilon_R} = \Delta'_{\epsilon_R} + \Delta''_{\epsilon_R}$ $\Delta_{\epsilon_R} = 0,007 \text{ мм}.$	a' – сталість діаметра зразка в поперечному перерізі, мм; a'' – сталість діаметра зразка в поздовжньому перерізі, мм.	Дані наладко-пускових робіт з верстатом: $a' = 0,005 \text{ мм};$ $a'' = 0,009 \text{ мм};$
2	[1/-С.70]: $\Delta_{H_R} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{\text{вим}}}{2}\right)^2 + \Delta_p^2}$ $\Delta_{H_R} = 0,016 \text{ мм}.$	$\Delta_{\text{вим}}$ – похибка вимірювання, мм; Δ_p – похибка регулювання положення різця.	$\Delta_{\text{вим}} = 0,6\delta \text{ мм} ([1/-С.71])$ $\delta = 0,05 \text{ мм}$ (табл. 27 [1/-С.72]); контроль розміру виконується калібр-пробкою $\varnothing 153,73^{+0,25}$, тоді $\Delta_{\text{вим}} = 0,03 \text{ мм}.$ $\Delta_p = 0,005 \text{ мм}$ – точність позиціонування поперечного супорта осі x у системі координат верстату і забезпечується системою ЧПК з дискретністю $0,002 \text{ мм}$ (Дані наладко-пускових робіт з верстатом)

Продовження додатку Б

1	2	3	4
3	<p>[2/-С.25]:</p> $\Delta_{yR} = P_y \cdot \omega,$ $\Delta_{yR} = 11C_{Py} \cdot S^{y_{Py}} \cdot V^{n_{Py}} \times$ $\times K_p \cdot (t_{max}^{x_{Py}} - t_{min}^{x_{Py}}) \times \omega,$ $\Delta_{yR} = 0,001108 \text{ мм}$	<p>t_{max} і t_{min} – максимальна і мінімальна глибина різання, мм; S – подача при точінні, мм/об; V – швидкість різання, м/хв.; K_p – коефіцієнт поправки; C_{Py}, y_{Py}, n_{Py}, x_{Py} – коефіцієнт і показники степенів для визначення сили різання P_y; P_y – нормальна складова сили різання, Н; ω – податливість ВПД, мкм/Н</p>	<p>3 параметрів різання: $t_{max} = 0,38 \text{ мм};$ $t_{min} = 0,305 \text{ мм};$ $S = 0,25 \text{ мм/об};$ $V = 120,7 \text{ м/хв.}$ [47/-С.273] табл. 22: $C_{Py} = 300$, $x_{Py} = 1,0$ $y_{Py} = 0,75$, $n_{Py} = -0,15$. [3/-С.264] табл. 9: $K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n$, $n = 0,75$, $\sigma_B = 980$ то $K_{Mp} = 1,22$. $K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p}$ [3/-С.275] табл. 23: $K_{\gamma_p} = 1,1$; $K_{\varphi_p} = 0,89$; $K_{\lambda_p} = 1,0$ маємо: $K_p = 1,04$. Податливість в шпинделі передньої бабки верстату при обробленні $\varnothing_{max} 650 \text{ мм}$ [1/-С.29] табл. 11: $\omega = \frac{200}{8781} = 0,0250 \text{ мкм/Н}$</p>
4	<p>[2/-С.76-77]:</p> $\Delta_{MH} = 1,2 \sqrt{\Delta_H^2 + \Delta_y^2} +$ $+ \Delta_g,$ $\Delta_{MH} = 0,0262 \text{ мм.}$	<p>Δ_{MH} – похибка миттєвого розсіювання розміру з урахуванням похибки налагодження з розрахунку на діаметр оброблюваної поверхні; 1,2 – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення при нормальному розподілі розмірів.</p>	<p>$\Delta_H = 0,016 \text{ мм};$ $\Delta_y = 0,001108 \text{ мм};$ $\Delta_g = 0,007 \text{ мм.}$</p>

Продовження додатку Б

1	2	3	4
5	$\Delta_i = -U_0 \left(1 + \frac{V\tau}{1000} \right),$ $\Delta_i = -6 \left(1 + \frac{120,7\tau}{1000} \right), \text{ або}$ $\Delta_i = -6 - 0,7242\tau$	τ – час оброблення, хв.; U_0 – відносний знос різця, мкм/км. Знак „-” показує, що спрацювання різця при- зводить до зменшення розміру, що повинен витримуватися.	τ – змінна величина; Для різця з пластиною Т15К6 [1/-С.74] табл. 28: $U_0 = 6$ мкм/км
6	[1/-С.75]: $\Delta_r = C \frac{L_p}{F} \sigma_B (t \cdot S)^{3/4} \times$ $\times V^{1/2} \frac{T_0}{T_0 + T_{nep}} \left(1 - e^{-\frac{4\tau}{\tau_m}} \right)$ $\Delta_r = 14,14 \left(1 - e^{-\frac{\tau}{4}} \right)$	C – константа; L_p – виліт різця, мм; F – площа поперечного перерізу державки різця, мм ² ; σ_B – границя міцності сталі заготовки; t, S, V – параметри різання; T_0 – основний час об- роблення, хв; T_{nep} – тривалість перерв між обробленням кожної деталі, хв; τ_m – константа, що змінюється в межах 12 ÷ 24хв. Знак „+” показує, що теплова деформація різ- ця призводить до збіль- шення розміру, що по- винен витримуватися.	3 параметрів різання: $t = 0,38$ мм; $S = 0,25$ мм/об; $V = 120,7$ м/хв.; $T_0 = 2,79$ хв; [1/-С.75]: $C = 4,5, L_p = 130,$ $F = 32 \times 32 = 1024$ мм ² , $\sigma_B = 98$ кг/мм ² $T_{nep} = (19,15 \cdot 6\%) + 16,8 =$ $= 17,97$ хв; $\tau_m = 16$ хв; $e = 2,72$ – основа нату- рального логарифму

Продовження додатку Б

Література додатка додатку Д

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 томах / [Абрамов Ю. А., Андреев В. Н., Горбунов Б. И. и др.]; под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – [изд. 4-е, перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение. Т. 2. 1985. – 496 с.
2. Маталин А. А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов. / Маталин А. А. – М.: Машиностроение, 1970. – 320 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 томах / [Борисов В. Б., Борисов Е. И., Васильев В. Н. и др.]; под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – [изд. 4-е, перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение. Т. 1. 1985. – 656 с.

Додаток В



ТЗОВ «УНІВЕРСАЛЬНА БУРОВА ТЕХНІКА»

82100, Львівська область, м. Дрогобич, вул. Тураша, 20, Україна тел./факс: (03244)57009, e-mail: info@unidrilltech.com
СДРПОУ 37349178, індивідуальний податковий №373491713090, свідоцтво №100310417

ДОВІДКА

про те, що отримані Якимом Ігорем Степановичем результати теоретично-експериментальних досліджень з вдосконалення технологічного процесу виготовлення шарошок бурових доліт, були використані при вдосконаленні заводської технології виготовлення тришарошкових бурових доліт

Яким Ігор Степанович аспірант кафедри технології нафтогазового машинобудування Інституту інженерної механіки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу запропонував параметри технології виготовлення заготовок для шарошок бурових доліт. Для таких заготовок рекомендується нагрів до 1100°C і завершення гарячої пластичної деформації при температурах нижче температур рекристалізації аустенітного зерна. Заготовки піддають нормалізації і високому відпуску. Також Ігор Степанович, на основі експериментальних заводських досліджень, у яких приймав особисту участь, встановив вимогами до параметрів прогартовування долотних сталей, що схильні до деформації: різниця між твердістю на відстані від торця $6,5\text{мм}$ та на відстані від торця 30мм не повинна перевищувати HRC10. Він рекомендував застосовувати плавки долотних сталей котрі дають мінімальний перепад значень концентрації вуглецю між поверхневими шарами загартованого цементованого шару і серцевиною. Згідно розробки при ХТО слід ретельно дотримуватись температури підстуджування після цементації, яка повинна бути рівною $830 \pm 10^{\circ}\text{C}$. У випадках виявлення схильності плавки долотної сталі до виникнення деформацій шарошок слід заготовки після чорнового точіння піддавати рекристалізаційному відпалу, або високому відпуску.

Створені Якимом І. С. нові шляхи підвищення якісних показників цементованих шарошок тришарошкових бурових доліт апробовані в умовах реального виробництва і прийняті до подальшого вдосконалення якості й підвищення конкурентоздатності тришарошкових бурових доліт.

Генеральний директор
ТОВ „Унібуртех”



Сотник Т.Л.

Додаток Г

**ТЗОВ «УНІВЕРСАЛЬНА БУРОВА ТЕХНІКА»**

82100, Львівська область, м. Дрогобич, вул. Тураша, 20, Україна тел./факс (03244)57009, e-mail: info@unidrilltech.com
СДРІНОУ 37349178, індивідуальний податковий №373491713090, свідоцтво №100310417

ДОВІДКА

про те, що отримані Якимом Ігорем Степановичем результати теоретично-експериментальних досліджень з вдосконалення технологічного процесу виготовлення лап бурових доліт, були використані при вдосконаленні заводської технології виготовлення тришарошкових бурових доліт

Яким Ігор Степанович аспірант кафедри технології нафтогазового машинобудування Інституту інженерної механіки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу запропонував метод підвищення якості лап бурових доліт шляхом зниження їхньої схильності до викривлень та деформації. Ігор Степанович, на основі експериментальних заводських досліджень, у яких приймав особисту участь, встановив, що при виборі плавок долотної сталі слід особливу увагу звертати на співвідношення між значеннями концентрації вуглецю та концентрації молібдену. Ним встановлено, що хімічний склад сталі 21ХГНМА-В забезпечує низьку схильність до утворення деформацій, викривлень цапф лап після їхньої хіміко-термічної обробки (цементації). Сталь 21ХГНМА-В проти сталі 19ХГНМА-В дає в двічі менші значення биття бігових доріжок цапф лап, наприклад, для цапф лап бурових доліт типорозмірів 295,3мм; 393,7мм – биття менше у 2,1 рази. Аналізом прогартовування та розподілів твердості й концентрації вуглецю в цементованих і загартованих цапфах лап встановлено, що сталь 21ХГНМА-В порівняно зі сталлю 19ХГНМА-В краще забезпечує вимоги до контактної витривалості, тому її рекомендується для виготовлення лап бурових доліт.

Створені Якимом І. С. нові шляхи підвищення якісних показників лап тришарошкових бурових доліт апробовані в умовах реального виробництва і прийняті до вдосконалення заводської технології виготовлення бурових доліт й забезпечення конкурентоспроможності продукції підприємства.

Генеральний директор
ТОВ „УНІБУРТЕХ”



Сотник Т.Л.

001578

Додаток Д



Продовження додатку Д

(11) 71977

(19) UA

(51) МПК
E21B 10/22 (2006.01)

<p>(21) Номер заявки: u 2010 05441</p> <p>(22) Дата подання заявки: 05.05.2010</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.08.2012</p> <p>(41) Дата публікації відомостей про заявку та номер бюлетеня: 25.01.2011, Бюл. № 2</p> <p>(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.08.2012, Бюл. № 15</p>	<p>(72) Винахідники: Яким Роман Степанович, UA, Петрина Юрій Дмитрович, UA, Яким Ігор Степанович, UA</p> <p>(73) Власник: ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, вул. Карпатська, 15, м. Івано- Франківськ, 76019, UA</p>
---	--

(54) Назва корисної моделі:

БУРОВЕ ШАРОШКОВЕ ДОЛОТО

(57) Формула корисної моделі:

Бурове шарошкове долото, що містить цапфу, шарошку, порожнина якої герметизована тарілкоподібним ущільненням, еластичне кільце, встановлене між підшипниковим сепаратором, виконаним у вигляді плоскої шайби, та шарошкою, при цьому тарілкоподібне ущільнення нерухомо з'єднане з цапфою, яке відрізняється тим, що додатково містить сепаратор, в якому розміщені ролики, виконаний із композиційного зносостійкого матеріалу, з висотою, яка відповідає висоті ролика підшипника.

Продовження додатку Д



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

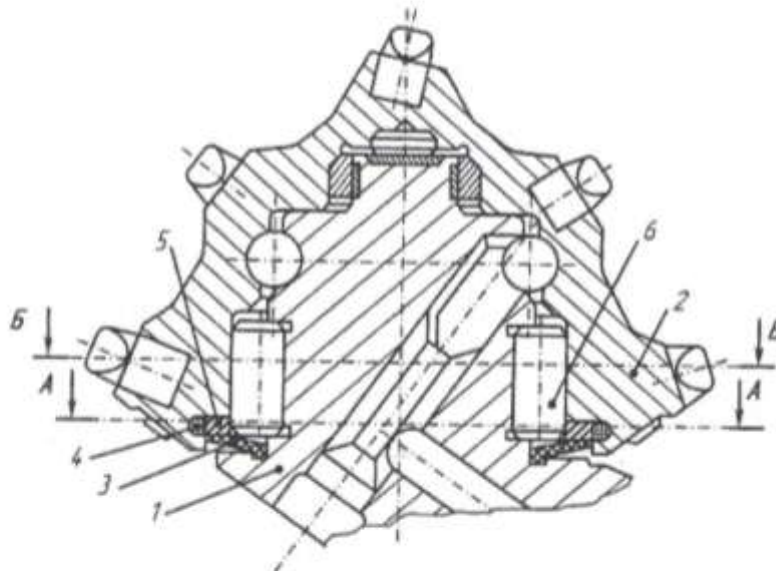
(19) **UA** (11) **71977** (13) **U**
(51) МПК
E21B 10/22 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2010 05441	(72) Винахідник(и): Яким Роман Степанович (UA), Петрина Юрій Дмитрович (UA), Яким Ігор Степанович (UA)
(22) Дата подання заявки: 05.05.2010	(73) Власник(и): ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.08.2012	
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.01.2011, Бюл.№ 2	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.08.2012, Бюл.№ 15	

(54) БУРОВЕ ШАРОШКОВЕ ДОЛОТО**(57) Реферат:**

Бурове шарошкове долото містить цаффу, шарошку, порожнина якої герметизована тарілкоподібним ущільненням, еластичне кільце, встановлене між підшипниковим сепаратором, виконаним у вигляді плоскої шайби, та шарошкою, при цьому тарілкоподібне ущільнення нерухомо з'єднане з цаффою. Додатково містить сепаратор, в якому розміщені ролики, виконаний із композиційного зносостійкого матеріалу, з висотою, яка відповідає висоті ролика підшипника.



Фиг. 1

UA 71977 U

Продовження додатку Д

UA 71977 U

Корисна модель належить до бурових доліт, а саме до шарошкових доліт з герметизованою опорою.

В забезпеченні високих експлуатаційних показників шарошкових доліт є проблема стійкості роликів до розвертання в постелі бігової доріжки. Це явище призводить до заклинювання опор і виходу з ладу долота. Тому актуальним є пошук способів вдосконалення конструкції бурових доліт.

Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є спроби виконання у підшипниках пристроїв, які є подібними до сепараторів різних типів. Однак сепаратори, які використовуються у загальному машинобудуванні, неможна використовувати у долотобудуванні через неминуче зменшення числа елементів кочення та ускладнення процесів складання долота. Тому традиційним у вирішенні проблеми є розробка конструкцій доліт, що містять спеціально розроблені сепаратори. Зокрема запропонована конструкція гумового сепаратора для великого роликового підшипника кочення [1]. Сепаратор виконується таким чином, що одна його частина є обоймою для розташування роликів, а друга - виконує роль радіальної ущільнюючої манжети.

Недоліком цієї конструкції є зменшення тл кочення, зокрема в опорі долота 215,9 ТКЗ кількість роликів периферійного підшипника зменшилося на 4 шт. Відпрацювання доліт з цією конструкцією сепаратора показало, що конструкція обойми для роликів є недосконалою, вона під дією навантаження скручувалася і передчасно руйнувалася. Відома конструкція секції, в якій сепаратор жорстко закріплений в шарошці [2]. На цапфі виконується кільцевий бурт, який має повздожні пази для проходу через них роликів підшипника, а замок виконаний у вигляді пружинного розрізного кільця, встановленого в шарошці між роликами і кільцевим буртом цапфи з можливістю проходу через нього кільцевого бурта при монтажі секції. Недоліком конструкції сепаратора є недостатнє мащення роликів, а також зменшення їх кількості. В конструкції [3] сепаратор великого роликового підшипника виконано у вигляді попарно з'єднаних секцій. Недоліком даної конструкції є зменшення кількості тіл кочення великого роликового підшипника. Також відома конструкція [А.С. СССР № 212909], в якій між тілами кочення встановлені сепаратори, які виконані у вигляді плаваючих прокладок з боковими сферичними чи циліндричними поверхнями, що відповідають поверхням тіл кочення. Прокладки виготовляють з гуми чи пластмаси з внутрішнім армуванням металевим каркасом. При цьому висота прокладки є меншою від діаметра ролика, а довжина прокладки рівна довжині ролика. Однак дана конструкція не знайшла застосування в долотобудуванні через низьку стійкість до заклинювання опори при утворенні люфтів від зносу. Відома конструкція [А.С. СССР № 323536], в якій навантажені бігові доріжки підшипника кочення виконують в проміжній втулці, що монтується на цапфі, жорстко кріплять втулку-демпфер, яка виготовляється з еластичного матеріалу. Недоліком конструкції є ускладнення технології складання долота. Також за рахунок значної деформації еластичного демпфера при роботі долота на вибої можливі перекошування шарошок і зачеплення їх оснащення, що може призвести до відмови долота. Відома конструкція опори [4], в якій сепаратори виконуються з матеріалу, у якому є вспінюючі компоненти, що тверднуть після закачування в опору. Однак у заводських умовах важко контролювати якість сепаратора.

Найбільш близькою до запропонованої конструкції за технічною суттю і результатом, що досягається, є відома конструкція бурового шарошкового долота, що містить цапфу, шарошку, підшипник з сепаратором в основі цапфи і ущільнення, яке контактує з сепаратором, при цьому ущільнення нерухомо закріплене на цапфі і між поверхнями контакту сепаратора у вигляді плоскої шайби та шарошки розташовано додаткове ущільнення [5]. Проте за рахунок того, що сепаратор у вигляді плоскої шайби обіймає тільки крайню частинку ролика периферійного підшипника неможливо в повній мірі забезпечити стійкість ролика до розвороту.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомій конструкції бурового шарошкового долота, що містить цапфу, шарошку, порожнина якої герметизована тарілкоподібним ущільненням, еластичне кільце, встановлене між підшипниковим сепаратором, виконаним у вигляді плоскої шайби, та шарошкою, при цьому тарілкоподібне ущільнення нерухомо з'єднане з цапфою, згідно з корисною моделлю, додатково введено сепаратор, виконаний із композиційного зносостійкого матеріалу, з висотою, яка відповідає висоті ролика підшипника.

Виконання сепаратора з композиційного зносостійкого матеріалу дозволяє забезпечити не тільки стійкість роликів до розвертання, підсилити ефективність сепаратора, що виконаний у вигляді плоскої шайби, а й знизити вібрації в опорі та покращити умови мащення контактуючих поверхонь опори.

Корисну модель пояснюють креслення. На фіг. 1 показано основний розріз секції шарошкового долота, на фіг. 2 представлено переріз секції шарошкового долота в перерізі А-А, на фіг. 3 представлено переріз секції шарошкового долота в перерізі Б-Б.

Продовження додатку Д

UA 71977 U

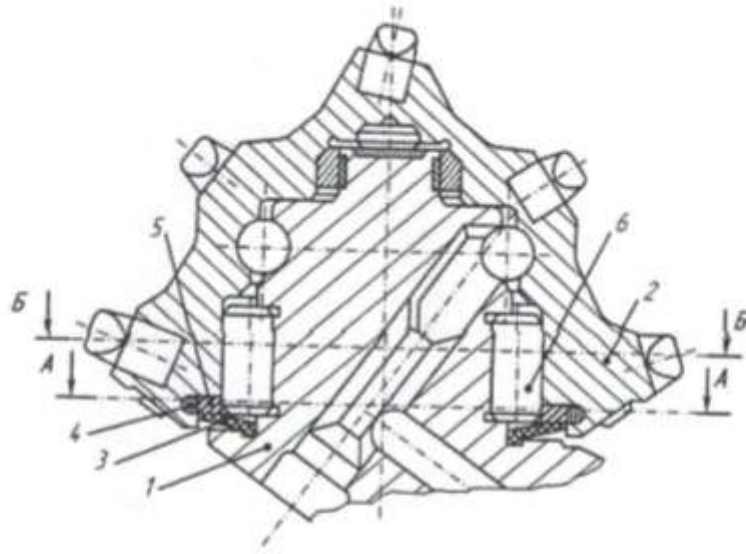
- Бурове шарошкове долото складається з цапфи 1, шарошки 2, порожнина якої герметизована тарілкоподібним ущільненням 3 та еластичним кільцем 4, встановленим між підшипниковим сепаратором у вигляді плоскої шайби 5 та шарошкою 2, при цьому ролики 6 розміщено в сепараторі 7, який виконаний з композиційного зносостійкого матеріалу.
- 5 Тарілкоподібне ущільнення 3 нерухомо з'єднане з цапфою 1, наприклад за допомогою клею, що забезпечує надійність його роботи в умовах пульсуючого осьового переміщення шарошки при бурінні.
- Дана конструкція бурового долота дозволяє забезпечити вищу вібростійкість опори, стійкість роликів до розвертання в постелі бігової доріжки, покращити умови мащення контактуючих поверхонь. Виконання сепаратора шляхом заливання роликів в опору композиційним зносостійким матеріалом з його наступним твердненням дозволяє також підвищити ступінь герметизації порожнини шарошки. Що дозволяє забезпечувати нормальні умови роботи опори долота на вибої в умовах дії значних перепадів тисків.
- 10 Джерела використаної інформації:
1. Владиславлев Ю. Е. Долота с герметизированными маслonaполненными опорами для высокооборотного бурения / Ю. Е. Владиславлев, А. П. Окулов // Вопросы совершенствования конструкций породоразрушающего и керноотборного инструмента: сб. науч. трудов. Всесоюз. орд. Труд. Краен. Знам. научно-исслед. инст. буровой техн. (ВНИИБТ). - Вып. 55. - М., 1982. - С. 20-27.
- 20 2. А. с. 1528891 СССР, МКИ E21B 10/22 Секция бурового шарошечного долота / Н. М. Панин, Л. Н. Думкин, В. Г. Смирнов, С. С. Кузмичев, В. Н. Митюшин (СССР).-4329858/23-03; заявл. 18.11.87; опубл. 15.12.89, Бюл. № 46.
3. А. с. 791896 СССР, МКИ E21B 10/22 Опора бурового шарошечного долота / В. В. Алисин, А. Р. Логинов, В. И. Поздняков, М. Г. Абрамсон, А. С. Юдин (СССР).-2594054/22-03; заявл. 20.03.78; опубл. 30.12.80, Бюл. № 48.
- 25 4. А. с. 1448023 СССР, МКИ E21B 10/22 Способ изготовления опоры забойного инструмента / Р. Г. Ахмадеев, А. А. Заостровский (СССР).-4173937/22-03; заявл. 17.11.88; опубл. 30.12.88, Бюл. № 48.
5. А. с. 794154 СССР, МКИ E21B 10/22 Буровое шарошечное долото / А. С. Юдин, Р. М. Богомолов, А. А. Логинов (СССР).-2625947/22-03; заявл. 08.06.81; опубл. 07.01.81, Бюл. № 1.
- 30

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

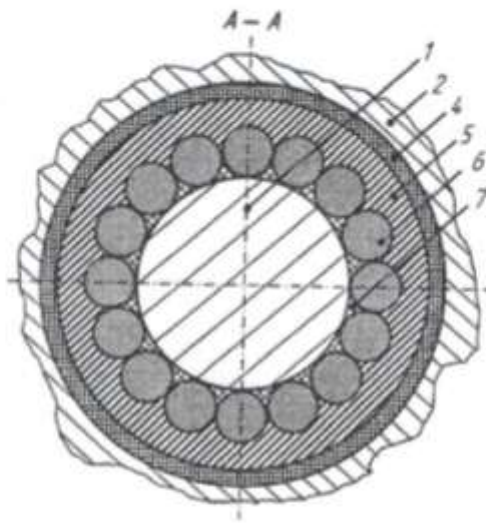
- Бурове шарошкове долото, що містить цапфу, шарошку, порожнина якої герметизована тарілкоподібним ущільненням, еластичне кільце, встановлене між підшипниковим сепаратором, виконаним у вигляді плоскої шайби, та шарошкою, при цьому тарілкоподібне ущільнення нерухомо з'єднане з цапфою, яке відрізняється тим, що додатково містить сепаратор, в якому розміщені ролики, виконаний із композиційного зносостійкого матеріалу, з висотою, яка відповідає висоті ролика підшипника.
- 35

Продовження додатку Д

UA 71977 U



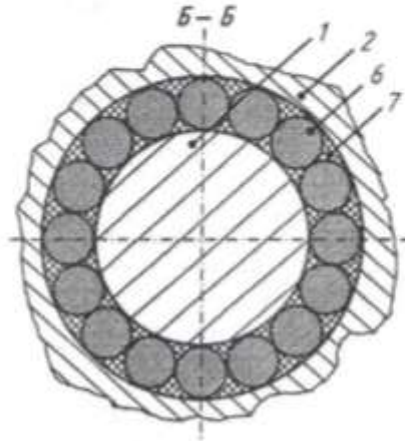
Фир. 1



Фир. 2

Продовження додатку Д

UA 71977 U



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток Е

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор
ТОВ "УНІБУРТЕХ"

Сотник Т.Л.

03 2013р.

АКТ

про освоєння виготовлення виробництвом і застосування конструкції тришарошкового бурового долота з опорою виконаною згідно Пат. 71977

Комісія ТзОВ „Універсальна бурова техніка” в складі:

Голови – технічного директора Л. Є. Шмандровського

і членів:

директора з якості А. Ю. Колодія,

провідного інженера-конструктора Я. Р. Круглія,

начальника планово-економічного відділу Т.Д. Шумади

свідчить про те, що конструкція опори долота згідно Пат. 71977, була з ефективною освоєна виробництвом. Дана конструкція долота, при стендових випробуваннях показала, що сепаратор із композиційного зносостійкого матеріалу дозволяє забезпечити не тільки стійкість роликів до розвертання, підсиливши ефективність сепаратора, що виконаний у вигляді плоскої шайби, а й знизити вібрації в опорі та покращити умови мащення контактуючих поверхонь опори. Дана конструкція бурового долота дозволяє забезпечити вищу вібростійкість опори, стійкість роликів до розвертання в постелі бігової доріжки, покращити умови мащення контактуючих поверхонь. Виконання сепаратора шляхом заливки роликів в опорі композиційним зносостійким матеріалом з його наступним твердненням дозволяє також підвищити ступінь герметизації порожнини шарошки. Що дозволяє забезпечувати нормальні умови роботи опори долота на вибої в умовах дії значних перепадів тисків.

Технічний директор

Л. Є. Шмандровський

Директор з якості

А. Ю. Колодій

Провідний інженер-конструктор

Я. Р. Круглій

Начальник
планово-економічного відділу

Т.Д. Шумада

Додаток Ж



Продовження додатку Ж

(11) 99363

(19) UA

(51) МПК

E21B 10/22 (2006.01)

F16C 17/02 (2006.01)

- | | |
|--|--|
| <p>(21) Номер заявки: а 2010 14066</p> <p>(22) Дата подання заявки: 25.11.2010</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.08.2012</p> <p>(41) Дата публікації відомостей про заявку та номер бюлетеня: 10.01.2012, Бюл. № 1</p> <p>(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.08.2012, Бюл. № 15</p> | <p>(72) Винахідники:
Яким Роман Степанович, UA,
Петрина Юрій Дмитрович,
UA,
Яким Ігор Степанович, UA</p> <p>(73) Власник:
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-
Франківськ, 76019, UA</p> |
|--|--|

(54) Назва винаходу:

ОПОРА БУРОВОГО ШАРОШКОВОГО ДОЛОТА

(57) Формула винаходу:

Опора бурового шарошкового долота, що містить цапфу з наплавленим шаром твердого антифрикційного сплаву, шарошку, виконану з пазами на поверхні ковзання радіального периферійного підшипника, які орієнтовані під кутом 35-50° до поперечної осі симетрії цапфи і заповнені антифрикційними серповидними вставками, а також містить вузол герметизації, яка відрізняється тим, що додатково містить тришарову плаваючу втулку, що виконана зі сталеві основи, на яку з зовнішньої і внутрішньої сторони по краях, шириною $\frac{1}{4}$ ширини втулки, нанесено композиційний матеріал з модулем пружності нижче модуля пружності матеріалу шарошки і цапфи, середина втулки з зовнішньої і внутрішньої сторони має наплавлення з антифрикційного зносостійкого матеріалу, а також містить додатковий осьовий підшипник ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки", який містить наплавлення шару зносостійкого антифрикційного сплаву на упорний торець цапфи лапи, а упорний торець шарошки виконаний з глухими отворами, із запресованими мідними циліндричними вставками.

Продовження додатку Ж



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **99363** (13) **C2**
 (51) МПК
E21B 10/22 (2006.01)
F16C 17/02 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2010 14066</p> <p>(22) Дата подання заявки: 25.11.2010</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.08.2012</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 10.01.2012, Бюл.№ 1</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.08.2012, Бюл.№ 15</p>	<p>(72) Винахідник(и): Яким Роман Степанович (UA), Петрина Юрій Дмитрович (UA), Яким Ігор Степанович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: SU 463773, 15.03.1975 SU 456884, 15.01.1975 SU 641062, 05.01.1979 UA 85244 C2, 12.01.2009 RU 2096578 C1, 20.11.1997 EP 1334259 B1, 13.08.2003 RU 2136836 C1, 10.09.1999</p>
--	---

(54) ОПОРА БУРОВОГО ШАРОШКОВОГО ДОЛОТА

(57) Реферат:

Опора бурового шарошкового долота містить цапфу з наплавленим шаром твердого антифрикційного сплаву, шарошку, виконану з пазами на поверхні ковзання радіального периферійного підшипника, які орієнтовані під кутом 35-50° до поперечної осі симетрії цапфи і заповнені антифрикційними серповидними вставками, а також містить вузол герметизації. При цьому опора додатково містить тришарову плаваючу втулку, що виконана зі сталеві основи, на яку з зовнішньої і внутрішньої сторони по краях, шириною $\frac{1}{4}$ ширини втулки, нанесено композиційний матеріал з модулем пружності нижче модуля пружності матеріалу шарошки і цапфи, середина втулки з зовнішньої і внутрішньої сторони має наплавлення з антифрикційного зносостійкого матеріалу, а також містить додатковий осьовий підшипник ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки", який містить наплавлення шару зносостійкого антифрикційного сплаву на упорний торець цапфи лапи, а упорний торець шарошки виконаний з глухими отворами, із запресованими мідними циліндричними вставками. Виконання опори ковзання з плаваючою тришаровою втулкою дозволяє покращити умови тертя в опорі, при цьому забезпечується плавність обертання шарошок, що усуває відмови цих опор у процесі пуску і припрацювання долота на вибої.

UA 99363 C2

Продовження додатку Ж

UA 99363 C2

Винахід належить до області техніки для буріння свердловин в земній корі та може бути використана в бурових шарошкових долотах та в іншому подібному обладнанні.

5 Довговічність бурових шарошкових доліт суттєво визначається експлуатаційними показниками опор. Оскільки значна кількість типів шарошкових бурових доліт виконується на основі підшипників ковзання, тому вдосконалення конструкції цих опор має важливе практичне значення.

10 Сьогодні долотними заводами випускаються долота у яких герметизовані опори виконуються з радіальними підшипниками ковзання, так званої продуктової лінії "AU" [1, 2]. Великий підшипник ковзання тут виконується у вигляді впресованої у шарошку втулки з берилієвої бронзи, а на цапфі лапи поверхня підшипника ковзання наплавлена стелітом. Малий підшипник ковзання виконується наплавленням стелітом на цапфу лапи, також наплавлення виконується на упорному торці бурта цапфи лапи. Для зниження коефіцієнта тертя внутрішня порожнина шарошки має срібне покриття. Також виготовляються долота лінії "AUL", в яких великий підшипник ковзання виконаний на основі плаваючої розрізаної втулки зі зносостійкого антифрикційного сплаву. В цій конструкції долота упорний підшипник ковзання виконаний з торцевою шайбою з такого самого матеріалу як і втулка. Внутрішня поверхня шарошок як і в долотах "AU" вкрита шаром срібла. Ці конструкції дозволяють суттєво знизити тертя в опорі, однак допустима частота обертання таких доліт не перевищує 250-280 хв⁻¹. Аналіз відмов опор цих доліт вказує на недостатню їх стійкість до ударних навантажень. Також зафіксовано випадки відмов доліт у момент пуску і припрацювання.

20 Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є виконання опори підшипників ковзання з тришаровою втулкою. Дана втулка виконується з антифрикційних матеріалів, що мають різний опір тертю ковзання [3]. Однак дана конструкція не забезпечує довговічності через недостатню стійкість опорних елементів до ударних навантажень, в яких долото працює на вибої.

25 Відома конструкція опори шарошки бурового долота, підшипники ковзання, у яких виконується з амортизаційною втулкою, яка виготовляється з матеріалу, модуль пружності якого нижче модуля пружності взаємодіючої з нею деталі [4]. Проте у результаті значних навантажень за рахунок низького модуля пружності втулок можуть виникати значні перекоси і зростати кут між осями цапфи лапи і шарошки, спричинюючи значні зазори в опорі. Все це призводить до перерозподілу навантажень на контактуючі поверхні опори і пришвидшеного виходу їх з ладу.

30 Для підвищення стійкості до ударних навантажень і жорсткості демпферних елементів підшипників ковзання в [5] запропонована конструкція опори, що включає проміжну втулку з двох кілець і втулку демпфер. Однак хоч дана конструкція забезпечує високу стійкість до динамічних навантажень та здатність до самовстановлення тут можуть виникати значні перекоси між осями цапфи лапи і шарошки, спричинюючи ризикання шарошки на вибої.

35 Аналіз сучасних доліт з опорами ковзання показує, що їхня конструкція в процесі експлуатації повинна максимально забезпечувати стійкість до утворення зазорів, перекосів, зростання кута між осями цапфи лапи і шарошки. Наприклад, в опорах виконують осьовий підшипник ковзання "упорний торець шарошки - упорний торець лапи". Тут на упорному торці лапи наносять зносостійкий антифрикційний сплав, а в торець шарошки цементують. Однак цементований шар швидко руйнується. Ця проблема усунена в конструкціях опор доліт, представлених в [6]. Тут в упорний торець шарошки вставляють срібні або мідні циліндричні вставки. Це дозволяє досить ефективно відводити тепло з зони контакту, забезпечувати сприятливі умови тертя.

45 Найбільш близькою до запропонованої конструкції за технічною суттю і результатом, що досягається, відома конструкція опори бурового шарошкового долота, що включає цапфу з наплавленим шаром твердого антифрикційного сплаву, шарошку, виконану з пазами на поверхні ковзання радіального периферійного підшипника, які орієнтовані під кутом 35-50° до поперечної осі симетрії цапфи, заповненими антифрикційними серповидними вставками. Опорна поверхня корпусу шарошки розташована біля зовнішнього торця і вузла герметизації та містить комбіновану зону поверхні шарошки, яка складається з ділянок, виконаних з різного матеріалу, що чергуються між собою [7]. Проте за рахунок того, що у навантаженій зоні тертя в основному здійснюється по контакту сталь шарошки - наплавлений шар, а також значно гірші умови мащення ніж в опорах з плаваючою втулкою, дана конструкція опори не дозволяє у повній мірі забезпечувати довговічність долота. Крім цього один осьовий підшипник "п'ята - підп'ятник" слабо забезпечує стабілізацію опори в осьовому напрямку.

55 Поставлена задача, при створенні винаходу - вдосконалити конструкцію опори з метою підвищення довговічності вирішується завдяки тому, що у відомій конструкції опори бурового шарошкового долота, що містить цапфу з наплавленим шаром твердого антифрикційного сплаву, шарошку, виконану з пазами на поверхні ковзання радіального периферійного

Продовження додатку Ж

UA 99363 C2

підшипника, які орієнтовані під кутом 35-50° до поперечної осі симетрії цапфи і заповнені антифрикційними серповидними вставками, а також містить вузол герметизації, згідно з винаходом, додатково введено тришарову плаваючу втулку, що виконується з сталеві основи, на яку з зовнішньої і внутрішньої сторони по краях, шириною $\frac{1}{4}$ ширини втулки, нанесено композиційний матеріал з модулем пружності нижче модуля пружності матеріалу шарошки і цапфи, середина втулки з зовнішньої і внутрішньої сторони має наплавлення з антифрикційного зносостійкого матеріалу, а також введено додатковий осьовий підшипник ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки", який включає наплавлення шару зносостійкого антифрикційного сплаву на упорний торець цапфи лапи, а упорний торець шарошки виконаний з глухими отворами, із запресованими мідними циліндричними вставками.

Введення плаваючої тришарової втулки дозволяє забезпечувати плавність ходу опори в момент пуску і припрацювання долота на вибої, підвищує здатність до самовстановлення. Виконання сталеві основи забезпечує жорсткість і пружність плаваючої втулки, а композиційний матеріал з модулем пружності нижче модуля пружності матеріалу шарошки і цапфи з зовнішньої і внутрішньої сторони по краях шириною $\frac{1}{4}$ ширини втулки дозволяє знизити можливість руйнування країв втулки при ударних навантаженнях і змінах в нормальному розподілі навантаження на опору при динамічній взаємодії породоруйнуючого оснащення шарошки з вибоєм. Середня частина плаваючої тришарової втулки за рахунок наплавленого з зовнішньої і внутрішньої сторони антифрикційного зносостійкого матеріалу забезпечує зниження потужності, що підводиться до долота для обертання шарошок, покращення умов мащення і рівномірний знос, що відтермінує швидке утворення зазорів у опорі.

Введення додаткового осьового підшипника ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки", який включає наплавлення шару зносостійкого антифрикційного сплаву на упорний торець цапфи лапи, а упорний торець шарошки виконується з глухими отворами, у які впресовують мідні циліндричні вставки, що дозволяє стабілізувати роботу опори в осьовому напрямку, а також за допомогою мідних вставок дозволяє покращити умови тертя і відведення тепла з зони контакту упорних торців шарошки і цапфи лапи.

Винахід ілюструється кресленнями. На фіг. 1 показано основний розріз опори ковзання бурового шарошкового долота (шарошка показана у розрізі по діаметральній площині, верхня частина цапфи умовно вирізана), на фіг. 2 представлено переріз опори шарошкового долота в перерізі А-А, на фіг. 3 представлено переріз шарошки в перерізі Б-Б, на фіг. 4 представлено переріз опори в перерізі В-В, на фіг. 5 представлено переріз тришарової плаваючої втулки в поперечній площині.

Опора бурового шарошкового долота включає цапфу 1, на якій за допомогою замкового кулькового підшипника кочення 2 змонтовано шарошку 3, яка вільно обертається навколо осі 4 цапфи 1. На цапфі 1 в навантаженій зоні поверхні 5 ковзання радіального периферійного підшипника наплавлений шар твердого антифрикційного сплаву 6. Також на цапфі 1 по кільцевій поверхні упорного торця 7 виконується наплавлений шар 8 твердого антифрикційного сплаву. Шарошка 3 виконується з пазами 9 на поверхні 10 ковзання радіального периферійного підшипника, які орієнтовані під кутом $\alpha=35-50^\circ$ до осі 4 цапфи 1. Пази 9 заповнюються антифрикційними серповидними вставками 11. На кільцевій поверхні упорного торця 12 шарошки 3 виконуються глухі отвори 13, в які запресовуються мідні циліндричні вставки 14. В шарошку 3 також вставлено під'ятник 15 з теплостійкого і зносостійкого матеріалу, що контактує з торцем 16 цапфи 1, а також антифрикційну втулку 17, яка охоплює поверхню 18 тертя малого підшипника ковзання. Між поверхнею 5 ковзання радіального периферійного підшипника цапфи 1 і поверхнею 10 ковзання радіального периферійного підшипника шарошки 3 встановлено тришарову плаваючу втулку 19, що виконується з сталеві основи 20, на яку з зовнішньої 21 і внутрішньої 22 сторони по краях 23 шириною $\frac{1}{4}$ ширини втулки 19 нанесено композиційний матеріал з модулем пружності нижче модуля пружності матеріалу шарошки 3 і цапфи 1, середина 24 втулки 19 з зовнішньої 21 і внутрішньої 22 сторони має наплавлення з антифрикційного зносостійкого матеріалу. Для герметизації опори служить спеціальне ущільнююче кільце 25 встановлене в канавці 26 шарошки 3 і щільно прилягає до основи цапфи 1.

Розміри елементів підшипників ковзання, в тому числі l , h , R , опори вибираються у відповідності до типорозміру опори долота, а також з таким розрахунком, щоб навантаження було рівномірно розподілено по підшипниках опори. Плаваюча втулка встановлюється з радіальними зазорами, що забезпечують внутрішній і зовнішній відносний зазор рівним 0,01. Діаметр d мідних вставок і їх кількість встановлюється з такого розрахунку, щоб між вставками була відстань рівна її діаметру. Висота вставки повинна забезпечувати ефективне

Продовження додатку Ж

UA 99363 C2

тепловідведення з зони тертя і може складати наприклад для доліт середнього типорозміру порядку 10 мм.

- Виконання опори ковзання з плаваючою тришаровою втулкою дозволяє суттєво покращити умови тертя в опорі, зокрема в опорах доліт 295,3 СЗ ГАУ момент тертя у великому підшипнику ковзання з плаваючою втулкою зменшується у порівнянні з базовою конструкцією, яка виконується без плаваючого кільця. Це дозволяє зменшувати підведення потужності для подолання тертя в підшипнику ковзання з плаваючою втулкою приблизно на 37 %. Також долота з плаваючою втулкою в опорі ковзання показують значно кращу плавність обертання шарошок, не виявлено відмов цих опор у процесі пуску і припрацювання долота на вибої. Зауважено краще самовстановлення і стійкість опори до ударних навантажень. Введення додаткового осьового підшипника ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки" забезпечує підвищення стабільності роботи опори в осьовому напрямку і при перевантаженні опори забезпечує стійкість до утворення значних зносів у навантаженій зоні, що спричинюють до утворення зазорів в опорі, ризикання шарошки і її заклинювання на вибої. Також за допомогою мідних вставок покращуються умови мащення і відведення тепла з зони контакту упорних торців шарошки і цапфи лапи.

Джерела використаної інформації:

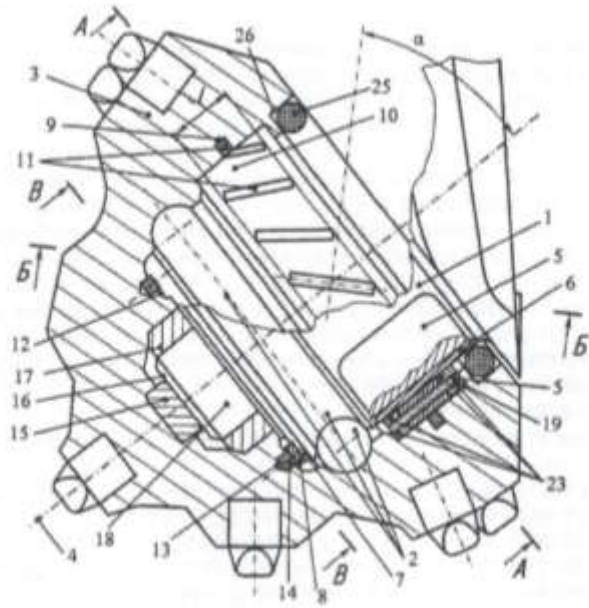
1. Буровые долота: каталог / [сост. Волгабурмаш] - Самара.: ООО «ВБМ-сервис», 2006. - 48 с.
2. Каталог продукції для нафтової та газової промисловості: каталог / [авт.: ВАТ "Дрогобицький долотний завод"] - Дрогобич: ДДЗ, 2008. - 57 с.
3. А.с. 641062 СССР, МКИ Е 21В 9/08 F16 С 33/04 Опора шарошечного долота / П.М. Цехмистренко (СССР). - 2506999/22-03; заявл. 11.07.77; опубл. 05.01.79, Бюл. № 1.
4. А.с. 456884 СССР, МКИ Е 21В 9/10 Опора шарошки бурового долота / В.Г. Неупокоев, Н.А. Борисов, Ю.И. Басанов (СССР). - 1971.
5. А.с. 463773 СССР, МКИ Е 21В 9/10 Опора шарошечного долота / А.С. Губарев, Р.Н. Сейфи, (СССР).
6. Каталог буровых долот компании Hughes Christensen / [сост. Хьюз Кристенсен] - М.: Бейкер Хьюз Инкорпорейтед, 2008. - 44 с.
7. А.с. 11070983 СССР, МКИ Е 21В 10/22 F16 С 17/00 Опора бурового шарошечного долота / В.Б. Уралев, В.С. Кантон (СССР). - 3457030/22-03; заявл. 18.02.82.

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

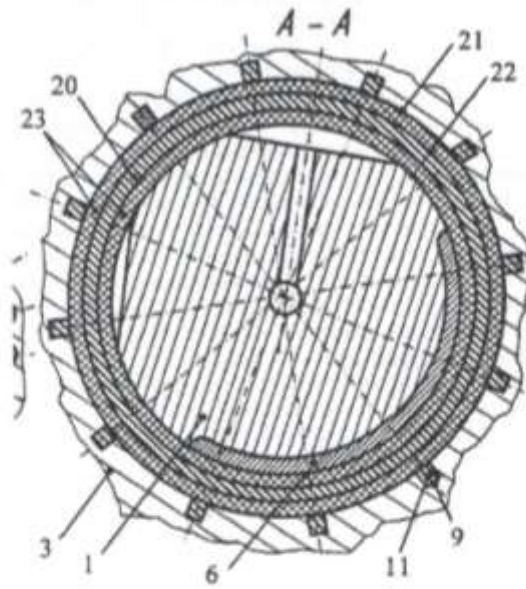
- Опора бурового шарошкового долота, що містить цапфу з наплавленим шаром твердого антифрикційного сплаву, шарошку, виконану з пазами на поверхні ковзання радіального периферійного підшипника, які орієнтовані під кутом 35-50° до поперечної осі симетрії цапфи і заповнені антифрикційними серповидними вставками, а також містить вузол герметизації, яка відрізняється тим, що додатково містить тришарову плаваючу втулку, що виконана зі сталеві основи, на яку з зовнішньої і внутрішньої сторони по краях, шириною ¼ ширини втулки, нанесено композиційний матеріал з модулем пружності нижче модуля пружності матеріалу шарошки і цапфи, середина втулки з зовнішньої і внутрішньої сторони має наплавлення з антифрикційного зносостійкого матеріалу, а також містить додатковий осьовий підшипник ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки", який містить наплавлення шару зносостійкого антифрикційного сплаву на упорний торець цапфи лапи, а упорний торець шарошки виконаний з глухими отворами, із запресованими мідними циліндричними вставками.

Продовження додатку Ж

UA 99363 C2



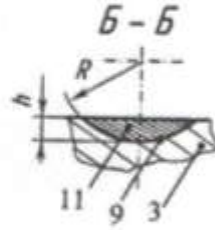
Фиг. 1



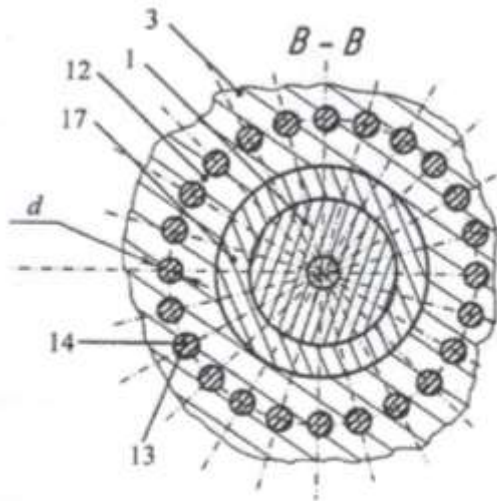
Фиг. 2

Продовження додатку Ж

UA 99363 C2



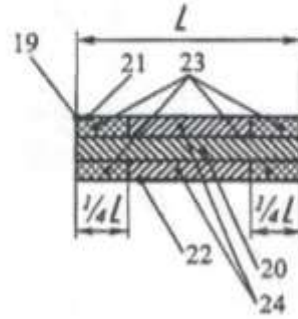
Фиг. 3



Фиг. 4

Продовження додатку Ж

UA 99363 C2



Фиг. 5

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток И



Продовження додатку II

(11) 99530

(19) UA

(51) МПК

E21B 10/22 (2006.01)

F16C 17/02 (2006.01)

- (21) Номер заявки: а 2010 15702
- (22) Дата подання заявки: 27.12.2010
- (24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 27.08.2012
- (41) Дата публікації відомостей про заявку та номер бюлетеня: 10.01.2012, Бюл. № 1
- (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 27.08.2012, Бюл. № 16

(72) Винахідники:
Яким Роман Степанович, UA,
Петрина Юрій Дмитрович,
UA,
Яким Ігор Степанович, UA

(73) Власник:
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-
Франківськ, 76019, UA

(54) Назва винаходу:

ОПОРА БУРОВОГО ШАРОШКОВОГО ДОЛОТА

(57) Формула винаходу:

Опора бурового шарошкового долота, що містить цапфу, на якій змонтовано шарошку за допомогою замкового підшипника кочення і кінцевого підшипника ковзання, що складається з п'яти, встановленої в циліндричній виточці у центральній частині торця цапфи, а також містить засіб розвантаження замкового підшипника, виготовлений у вигляді залобіжного виступу на під'ятнику, і в центральній частині торця цапфи виконується сферична виточка, що спряжена з циліндричною виточкою із утворенням посадкової поверхні, в яку вставлено п'яту, зафіксовану штифтами, а вздовж п'яти та торця опори у вертикальному напрямку виконаний паз для підводу охолоджуючого агента, яка відрізняється тим, що в опору додатково введено осьовий підшипник ковзання "упорний торець цапфи лали - упорний торець шарошки", де на упорний торець цапфи лали з зовнішнім діаметром $D_{\text{ПЦ}}$ наплавляється антифрикційний зносостійкий сплав і його робоча площина має форму випуклої сферичної поверхні радіусом $R_{\text{сф.вип.}}$, а упорний торець шарошки цементується та виконується з антифрикційними вставками, розташованими у шаховому порядку з середнім рядом по діаметру $D_{\text{Ср.}}$, що чисельно рівний середньому діаметру $D_{\text{Ср.ПЦ}}$ упорного торця цапфи лали, і його робоча площина має форму увігнутої сферичної поверхні радіусом $R_{\text{сф.увг.}}$, при цьому виконуються умови:

$$\frac{R_{\text{сф.вип.}}}{D_{\text{ПЦ}}} = 0,8 \dots 1,0, \quad \frac{R_{\text{сф.увг.}}}{R_{\text{сф.вип.}}} = 1,01 \dots 1,02.$$

Продовження додатку II



УКРАЇНА

(19) UA (11) 99530 (13) C2
 (51) МПК
 E21B 10/22 (2006.01)
 F16C 17/02 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2010 15702 (22) Дата подання заявки: 27.12.2010 (24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 27.08.2012 (41) Публікація відомостей про заявку: 10.01.2012, Бюл.№ 1 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.08.2012, Бюл.№ 16</p>	<p>(72) Винахідник(и): Яким Роман Степанович (UA), Петрина Юрій Дмитрович (UA), Яким Ігор Степанович (UA) (73) Власник(и): ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019 (UA) (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: SU 463773, 15.03.1975 SU 456884, 15.01.1975 SU 641062, 05.01.1979 UA 85244 C2, 12.01.2009 RU 2096578 C1, 20.11.1997 EP 1334259 B1, 13.08.2003 RU 2136836 C1, 10.09.1999</p>
---	---

(54) ОПОРА БУРОВОГО ШАРОШКОВОГО ДОЛОТА

(57) Реферат:

Опора бурового шарошкового долота містить цапфу, на якій змонтовано шарошку за допомогою замкового підшипника кочення і кінцевого підшипника ковзання, що складається з п'яти, встановленої в циліндричній виточці у центральній частині торця цапфи, а також містить засіб розвантаження замкового підшипника, виготовлений у вигляді запобіжного виступу на під'ятнику і в центральній частині торця цапфи виконується сферична виточка, що спряжена з циліндричною виточкою із утворенням посадкової поверхні, в яку вставлено п'яту, зафіксовану штифтами, а вздовж п'яти та торця опори у вертикальному напрямку виконаний паз для підводу охолоджуючого агента. При цьому в опорі додатково введено осьовий підшипник ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки", де на упорний торець цапфи лапи з зовнішнім діаметром $D_{ТЦ}$ наплавляється антифрикційний зносостійкий сплав і його робоча площа має форму випуклої сферичної поверхні радіусом $R_{сф.вип.}$, а упорний торець шарошки цементується та виконується з антифрикційними вставками, розташованими у шаховому порядку з середнім рядом по діаметру $D_{Ср.}$, що чисельно рівний середньому діаметру $D_{Ср.ТЦ}$ упорного торця цапфи лапи, і його робоча площа має форму увігнутої сферичної поверхні радіусом $R_{сф.увг.}$, при цьому виконуються умови: $\frac{R_{сф.вип.}}{D_{ТЦ}} = 0,8...1,0$, $\frac{R_{сф.увг.}}{R_{сф.вип.}} = 1,01...1,02$.

Виконання осьового підшипника ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки" дозволяє стабілізувати роботу опори в осьовому напрямку. Технічний результат: спряжені площини упорних торців по сферичній увігнутої і випуклої поверхні дозволяють максимально забезпечити не тільки самовстановлення опори, а й усунути ефекти вібрацій в опорі та створювати сприятливі умови тертя ковзання при зміщенні контактуючих упорних торців шарошки і цапфи лапи.

UA 99530 C2

Продовження додатку II

UA 99530 C2

Винахід належить до породоруйнівних інструментів, а саме опор бурових шарошкових доліт.

Сучасні бурові шарошкові долота мають велику різноманітність конструкцій опор, серед яких отримала значного поширення опора, виконана за схемою ролик - кулька - ролик. У цих опорах кульковий підшипник виконує функцію замкового. Для розвантаження кулькового замкового підшипника, а також стабілізації роботи опори в осьовому напрямку, виконують осьові підшипники ковзання. При цьому частим є випадки виходу з ладу опор через недостатню довговічність цих осьових підшипників ковзання, які в умовах форсованих режимів буріння швидко втрачають працездатність. Оскільки при великих питомих навантаженнях і значних швидкостях ковзання спряжені контактуючі поверхні працюють у граничних для застосовуваних матеріалів температурних режимах, то актуальним є вдосконалення конструкції осьових підшипників ковзання опор бурових шарошкових доліт.

У ряді конструкцій опор шарошкових доліт здійснені заходи для прогнозованості і компенсації перекосів у опорі. Зокрема в [1] розроблені рекомендації для кутового зміщення осі бігової доріжки цапфи лапи роликів підшипника відносно осі бігової доріжки шарошки. Відомо конструкція опори бурового шарошкового долота, що містить встановлені між цапфою і шарошкою роликовий підшипник, замковий кульковий підшипник, радіальний кінцевий упорний та осьовий упорний підшипники ковзання [2]. З метою підвищення стійкості опори до перекосів, поверхня осьового упорного підшипника на цапфі утворює з площиною, перпендикулярною до осі цапфи, гострий кут з вершиною, направленою в сторону навантаженої частини.

Проте ця конструкція не забезпечує рівномірного навантаження на кінцевий та замковий підшипники, що може призвести до відмови опори.

Відомо конструкція опори бурового шарошкового долота, яка включає цапфу на якій змонтовано шарошку за допомогою замкового підшипника кочення. Опора містить кінцевий підшипник ковзання, що складається з встановленої в осьовому каналі цапфи п'яти і під'ятника в шарошці [3]. Однак дана конструкція не забезпечує рівномірного розподілу навантаження між підшипниками опори, що може привести до передчасного виходу з ладу замкового підшипника.

У момент припрацювання і усталеного зношування основне навантаження в опорі припадає на упорний підшипник. Причому його експлуатація на початковому етапі характеризується гранично допустимими режимами. Після того як верхня робоча ділянка п'яти і торця цапфи зношується, в роботу вступає замковий підшипник. Це спричинює припрацювання підшипників опори в неоптимальних умовах. Тому необхідно використовувати конструкції вузлів, які б забезпечували розвантаження замкового кулькового підшипника і кінцевого підшипника ковзання. У деякій мірі це досягається в конструкції опори бурового шарошкового долота, яка включає цапфу, на якій змонтована шарошка за допомогою замкового підшипника кочення і кінцевого підшипника ковзання, що складається з п'яти, встановленої в осьовому каналі цапфи, і під'ятника в шарошці, та засіб розвантаження замкового підшипника [4]. Наявність в опорі засобу розвантаження у вигляді заповненої дробом камери, що сприймає осьові зусилля після того, як знос замкових кульок вже досягнув певної величини, знижує динамічність навантаження підшипників, що сприймають осьові зусилля, які діють на опору, та збільшує її працездатність. Однак конструкція не дозволяє в повній мірі проводити охолодження елементів опори. Існує також конструкція опори долота, в якій кінцевий підшипник виконаний з внутрішнього і зовнішнього кілець, що притискаються тарілкоподібною пружиною [5]. Тарілкоподібна пружина підтримує натяги в периферійному замковому підшипнику при зміні напрямку і величини осьового навантаження на шарошку. Проте, дана конструкція не забезпечує жорсткості в кінцевому підшипнику, що не дозволяє у повній мірі забезпечити ефект розвантаження замкового підшипника, а також ефективного охолодження робочих поверхонь елементів опори. Цього недоліку позбавлена конструкція опори бурового шарошкового долота, що включає цапфу, на якій за допомогою підшипника змонтована шарошка [6]. У середній частині опори розміщено замковий підшипник кочення. В центральній частині торця цапфи виконана циліндрична виточка, в яку запресована п'ята, а в шарошці - під'ятник, що складають вузол п'яти у вигляді кінцевого підшипника ковзання. Один із елементів вузла п'яти споряджений запобіжним виступом, який зминається у випадку перевищення допустимого навантаження на вузол п'яти і розвантажує замковий підшипник. Однак дана конструкція не забезпечує одночасне рівномірне навантаження на елементи опори під час припрацювання доліт, та в процесі відпрацювання долота. Перекози в горизонтальній площині цапфи долота, які виникають у результаті збільшення зазорів від спрацювання робочих поверхонь опори, спричинюють до підвищення нерівномірності зносу пари тертя "п'ята-під'ятник", що погіршує умови змащування і охолодження вузла. Перекіс робочих поверхонь пари тертя "п'ята-під'ятник" призводить до руйнування п'яти і під'ятника через утворення тріщин та їх розколювання.

Продовження додатку II

UA 99530 C2

Довговічність опор бурових доліт суттєво залежить від тривалого забезпечення мінімальних зазорів і попередження виникнення перекосів між віссю цапфи лапи і шарошки. Для вирішення цієї проблеми у ряді сучасних конструкцій опор введено підшипник ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки" і створюються умови для відведення тепла та реалізації вибіркового перенесення. З цією метою в серійних опорах шарошкових доліт на упорному торці цапфи лапи наплавляється стелітом, а упорний торець шарошки піддається хіміко-термічному зміцненню (цементується) [7]. У ряді конструкцій зарубіжних фірм - виробників доліт на упорному торці шарошки виконуються антифрикційні вставки [7, 8]. Разом з цим, практика відпрацювання доліт згаданих конструкцій показує, що навіть при зносі спряжених поверхонь в 1-3 мм в осьовому напрямку, у опорі виникають непрогнозовані перекоси, що призводять до відмов долота.

Найбільш близькою до запропонованої конструкції є опора бурового шарошкового долота, що містить цапфу, на якій змонтовано шарошку за допомогою замкового підшипника кочення і кінцевого підшипника ковзання, що складається з п'яти встановленої в циліндричній виточці у центральній частині торця цапфи, а також містить засіб розвантаження замкового підшипника виготовлений у вигляді запобіжного виступу на під'ятнику, в центральній частині торця цапфи виконується сферична виточка, що спряжена з циліндричною виточкою із утворенням посадкової поверхні в яку вставлено п'яту зафіксовану штифтами, а вздовж п'яти та торця опори у вертикальному напрямку виконаний паз для підводу охолоджуючого агента [10]. Виконання п'яти, яка має здатність до самовстановлення в лалі у відповідності до величини перекосів, спричинених зростанням люфтів у процесі роботи шарошкового долота, забезпечує рівномірність навантаження на підшипники опори. У результаті самовстановлення трибологічної системи робочих поверхонь "п'ята-під'ятник" сприяє вибіркового ефекту, що позитивно впливає на плавність роботи підшипників опори долота. Виконання у вертикальному напрямку в п'яті та торці опори пазу для підводу охолоджуючого агента підвищує можливості охолодження вузла пари "п'ята-під'ятник" та дозволяє забезпечувати циркуляцію охолоджуючого агента в умовах зашламлення долота. Однак практика відпрацювання даної конструкції показала, що один підшипник "п'ята-під'ятник" не дозволяє у повній мірі забезпечувати стійкість опори в осьовому напрямку. Введення в опору підшипника ковзання "упорний торець цапфи - упорний торець шарошки" за аналогом до серійних конструкцій [7]. (упорний торець цапфи лапи наплавляється стелітом, а упорний торець шарошки цементується), а також як у відомих зарубіжних конструкціях [7, 8] (на упорному торці шарошки виконуються антифрикційні вставки) до суттєвих якісних змін не призвело. У ході аналізу зносу спряжених поверхонь "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки" встановлено, що тут знос відбувається неоднорідно, що призводить до локальних зазорів і биття в осьовому напрямку опори. Також в ділянці максимального навантаження цапфи лапи виникає точковий контакт, що призводить до різкого зниження працездатності поверхні упорного торця шарошки. Необхідно зауважити, що при втраті паралельності між спряженими паралельними поверхнями підшипника ковзання „упорний торець цапфи - упорний торець шарошки” (вони розташовані перпендикулярно до осі опори) опора долота зазнає коливань в осьовому напрямку, що створює амплітуду обертання шарошки навколо цапфи

$$A = \pi R t g \varphi,$$

де R - радіус упорного торця цапфи лапи,

φ - кут між площинами контактуючих упорних торців, що утворюється в результаті перекосів

в опорі долота.

З ростом зносу, а відтак і кута φ коливання опори зростають і в умовах роботи долота ведуть до значних динамічних навантажень на опору, що спричинює до відмови останньої.

Разом з цим відомо, що у випадку, коли спряжені поверхні в упорному підшипнику ковзання виконуються злегка вигнутої форми, завжди забезпечуються умови для орієнтації осьової сили в центральному напрямку. Зони тиску при цьому розташовані симетрично в квадрантах, що примикають до точок найбільшого зближення зі сторони, протилежної напрямку обертання. При цьому величина торцевого биття тут є у 2 рази меншою у порівнянні з випадком виникнення перекосів у конструкціях з рівними площинами контакту [9], які використовуються у сучасних конструкціях упорних торцевих підшипників ковзання опор бурових доліт.

Несуча здатність упорних підшипників ковзання з сферичними упорними поверхнями визначається величиною контактної напруги згідно теорії Герца, і залежить від форми поверхонь, по яких відбувається контакт. При цьому відомо, що найменші напруги в зоні контакту виникають при контакті сфери випуклої з сферою, увігнутою при співвідношенні

Продовження додатку II

UA 99530 C2

$\frac{R_{\text{сф.увер.}}}{R_{\text{сф.ант.}}} = 1,01 \dots 1,02$, при цьому у всіх випадках напруження зменшуються зі збільшенням діаметру сфер.

Задача, що ставилась при створенні винаходу, - вдосконалити конструкцію опори з метою стабілізації роботи опори і підвищення її несучої здатності в осьовому напрямку за рахунок регламентованого і прогнозованого зміщення контактуючих упорних торців шарошки і цапфи лапи. Це дозволить збільшити довговічність опор бурових доліт за рахунок тривалого забезпечення мінімальних зазорів і при виникненні перекосів між віссю цапфи лапи і шарошки створити належні умови контакту спряжених поверхонь торця цапфи лапи і торця шарошки.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що у відомій конструкції опори бурового шарошкового долота, що виключає цапфу, на якій змонтовано шарошку за допомогою замкового підшипника кочення і кінцевого підшипника ковзання, що складається з п'яти, встановленої в циліндричній виточці у центральній частині торця цапфи, а також містить засіб розвантаження замкового підшипника, виготовлений у вигляді запобіжного виступу на під'ятнику і в центральній частині торця цапфи виконується сферична виточка, що спряжена з циліндричною виточкою із утворенням посадкової поверхні, в яку аставлено п'яту, зафіксовану штифтами, а вздовж п'яти та торця опори у вертикальному напрямку виконаний паз для підводу охолоджуючого агента, згідно з винаходом в опору додатково введено осьовий підшипник ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки", де на упорний торець цапфи лапи з зовнішнім діаметром $D_{\text{Т.Ц.}}$ наплавляється антифрикційний зносостійкий сплав і його робоча площина має форму випуклої сферичної поверхні радіусом $R_{\text{сф.ант.}}$, а упорний торець шарошки цементується та виконується з антифрикційними вставками, розташованими у шаховому порядку з середнім рядом по діаметру $D_{\text{ср.}}$, що чисельно рівний середньому діаметру $D_{\text{ср.Т.Ц.}}$ упорного торця цапфи лапи, і його робоча площина має форму увігнутої сферичної поверхні радіусом $R_{\text{сф.увер.}}$, при цьому виконуються умови: $\frac{R_{\text{сф.ант.}}}{D_{\text{Т.Ц.}}} = 0,8 \dots 1,0$, $\frac{R_{\text{сф.увер.}}}{R_{\text{сф.ант.}}} = 1,01 \dots 1,02$.

Введення осьового підшипника ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки" дозволяє стабілізувати роботу опори в осьовому напрямку. При цьому спряжені площини упорних торців по сферичній увігнутої і випуклій поверхні дозволяють максимально забезпечити не тільки самовстановлення опори, а й усунути ефекти вібрацій в опорі та створювати сприятливі умови тертя ковзання при зміщенні контактуючих упорних торців шарошки і цапфи лапи.

Винахід ілюструється кресленням, де на фіг.1 показано загальний вигляд в перерізі опори бурового шарошкового долота; на фіг. 2 - вид в горизонтальній площині вузла трибологічної пари "п'ята-під'ятник"; на фіг. 3 - вид А на фіг.1, що ілюструє ділянку контакту спряжених поверхонь упорних торців шарошки і цапфи лапи; на фіг. 4 - представлено вид Б-Б на фіг. 1.

Опора складається з цапфи 1, на якій за допомогою підшипників змонтована шарошка 2. У середній частині опори розташований замковий кульковий підшипник 3. В центральній частині торця цапфи 1 виконані циліндрична 4 та сферична 5 виточки в які вставляється п'ята 6, а в шарошці 2 - запресований під'ятник 7. П'ята 6 з під'ятником 7 утворюють вузол трибологічної пари самовстановного підшипника ковзання. Під'ятник 7 містить запобіжний виступ 8, що зминається при перевищенні допустимого навантаження на вузол трибологічної пари. Розмір виступу 8 визначаються розрахунково для забезпечення їх зминання при перевищенні на них навантаження вище допустимого. Для забезпечення надійного кріплення під'ятника 7 і шарошки 2, зовнішню бокову поверхню 9 під'ятника 7 виконують рифленою. Фіксація п'яти 6 в горизонтальній площині забезпечується двома штифтами 10. Тим самим забезпечується самовстановлення п'яти в лапі у відповідності до величини перекосів спричинених зростанням люфтів у процесі роботи шарошкового долота. Виконаний у вертикальному напрямку в п'яті та торці опори паз 11 для підводу охолоджуючого агента підвищує можливості охолодження вузла пари "п'ята-під'ятник" та дозволяє забезпечувати циркуляцію охолоджуючого агента в умовах зашламлення долота. На упорний торець 12 цапфи лапи 1 наплавляється антифрикційний зносостійкий матеріал, при цьому робоча поверхня 13 упорного торця 12 цапфи лапи 1 має форму випуклої сфери радіусом $R_{\text{сф.ант.}}$, а в упорному торці 14 шарошки 2 виконуються антифрикційні циліндричні вставки 15, що запресовуються у отвори 16, розташовані у шаховому порядку по поверхні 17 упорного торця 14 шарошки 2, при цьому поверхня 17 упорного торця 14 шарошки 2 виконується у формі увігнутої сфери радіусом $R_{\text{сф.увер.}}$.

Продовження додатку И

UA 99530 C2

П'ята 6 та підп'ятник 7 можуть виготовлятися як з теплостійкої зносостійкої сталі так і з іншого міцного та зносостійкого матеріалу, чи з нанесенням на робочі поверхні пари інших матеріалів, які забезпечують максимальну зносостійкість і мінімальний коефіцієнт тертя.

5 Розміри елементів п'яти вибираються з типорозміру опори долота, а також з таким розрахунком, щоб в початковий період роботи опори навантаження було рівномірно розподілено по підшипниках опори.

Упорний торець 12 цапфи лапи 1 може наплавлятися зносостійким антифрикційним матеріалом стелітом типу 3B16K, Stellite 190W, або іншим. Антифрикційні циліндричні вставки 15 в упорному торці 14 шарошки 2 для ефективного забезпечення відведення тепла і вибіркового перенесення в трибологічній парі можуть виконуватися з сплавів що містять срібло 10 типу ПСр40 або бронзи чи міді, при цьому поверхня 17 упорного торця 14 шарошки 2 може виконуватися з срібним покриттям товщиною порядку 0,5 мм.

15 Розташування циліндричних антифрикційних вставок 15 у шаховому порядку (фіг. 4) з середнім рядом по діаметру $D_{ср.}$, що чисельно рівний середньому діаметру $D_{ср.т.ц.}$ упорного торця 12 цапфи лапи 1, дозволяє максимально забезпечити сприятливі умови тертя при зміщенні спряжених сферичних поверхонь 13 і 17.

Геометричні розміри спряжених поверхонь 13 і 17 встановлюються для конкретного типорозміру опори долота у відповідності до співвідношень

$$a = \frac{R_{сф.вип.}}{D_{т.ц.}} = 0,8...1,0, \quad \frac{R_{сф.виг.}}{R_{сф.вип.}} = 1,01...1,02,$$

20 де $R_{сф.вип.}$ - радіус сфери поверхні 13 упорного торця 12 цапфи лапи 1,

$D_{т.ц.}$ - зовнішній діаметр упорного торця 12 цапфи лапи 1,

$R_{сф.виг.}$ - радіус сфери поверхні 17 упорного торця 14 шарошки 2.

При проектуванні конструкції "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки" встановлюють допустимі параметри перекошування шарошки 2 відносно цапфи 1. Отже, 25 відстань від центру найбільшого навантаження, де виникає максимум герцівського напруження т. A_0 від осі 18 цапфи лапи 1 (Фіг. 3) визначиться з співвідношення

$$h = R_{сф.вип.} \sin \beta = a D_{т.ц.} \sin \beta,$$

де β - номінальний кут положення т. A_0 ,

$$a = \frac{R_{сф.вип.}}{D_{т.ц.}} - \text{відношення радіусу сфери поверхні 13 упорного торця 12 цапфи лапи 1 до}$$

30 діаметра упорного торця 12 цапфи лапи 1, і приймається $a=0,8...1,0$.

Якщо найбільше навантаження розподіляється в ділянці середнього кола упорного торця 12, то

$$h = 0,5 D_{ср.т.ц.} = 0,25 (D_{т.ц.} + d_{т.ц.}),$$

де $D_{ср.т.ц.}$ - діаметр середнього кола упорного торця 12,

35 тоді орієнтація цього навантаження відносно осі 18 цапфи лапи 1 знайдеться з співвідношення

$$\sin \beta = \frac{h}{R_{сф.вип.}} = \frac{0,25 \left(1 + \frac{d_{т.ц.}}{D_{т.ц.}} \right)}{a}$$

де $d_{т.ц.}$ - внутрішній діаметр упорного торця 12 цапфи лапи 1.

У випадку виникнення перекосів у опорі точка найбільшого навантаження C_0 , де виникає 40 максимум герцівського напруження зміститься на величину Δh і займе наприклад положення C_1 , при цьому зміщення номінального кута β відносно осі 18 цапфи лапи 1, зміниться на величину $\Delta \phi$, при цьому отримаємо:

$$\sin(\beta + \Delta \phi) = \frac{h + \Delta h}{a D_{т.ц.}} = \frac{a D_{т.ц.} \sin \beta + \Delta h}{a D_{т.ц.}}$$

тепер

$$45 \Delta h = a D_{т.ц.} (\sin(\beta + \Delta \phi) - \sin \beta).$$

Припустимо, що між осями шарошки і цапфи лапи виникне перекош значенням $1''$ ($\Delta \phi = 1''$) то для осевого упорного підшипника ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки", у якого упорний торець 12 цапфи лапи 1, має зовнішній діаметр $D_{т.ц.} = 72,2$ мм і відношення внутрішнього діаметру упорного торця 12 цапфи лапи 1 до зовнішнього діаметру

50 упорного торця 12 цапфи лапи 1 становить $\frac{d_{т.ц.}}{D_{т.ц.}} = 0,72$, і $a=1$ отримаємо:

$$\sin \beta = 0,25(1 + 0,72) = 0,43, \quad \beta = 25,467'';$$

$$\Delta h = 72,2(\sin(25,467'' + 1'') - 0,43) = 1,083 \text{ мм.}$$

Продовження додатку II

UA 99530 C2

У випадку перекоосу $\Delta\varphi=2^\circ$ отримаємо зміщення $\Delta h=2,238$ мм.

Отримані значення зміщення цілком відповідають умовам виникнення зазорів у процесі зносу елементів опори шарошкових доліт. Разом з цим дана конструкція осьового упорного підшипника ковзання "упорний торець цапфи - упорний торець шарошки" дозволяє стабілізувати роботу опори і підвищити її несучу здатність в осьовому напрямку за рахунок регламентованого і прогнозованого зміщення контактуючих упорних торців шарошки відносно осі цапфи лапи. При цьому усувається проблема передчасного зносу спряжених контактуючих поверхонь виключно в ділянці максимального навантаження цапфи лапи і виникнення ситуацій коли між робочою площиною упорного торця цапфи лапи і площиною упорного торця шарошки виникає точковий контакт. Останнє явище спричинює до значних локальних спалахів температури, інтенсифікації зношування виникнення скоплення і задирок на упорному торці шарошки.

При роботі опори пропонуваної конструкції вузол пари "п'ята-підп'ятник" може навантажуватися зусиллям тільки в межах допустимої величини (вантажопідйомності), а надлишок зусилля шляхом змінання запобіжного виступу 8 передається на всі підшипники опори. При утворенні перекосів відбувається самовстановлення робочих трибоповерхонь в системі "п'ята-підп'ятник" і "упорний торець цапфи - упорний торець шарошки", при цьому одночасно забезпечується необхідна жорсткість в підшипниках та плавність обертання шарошки. При такій узгодженій роботі елементів опори забезпечується стабільність несучої здатності опори та можливість ефективного підведення охолоджуючого агента через осьові радіальні канали в цапфі 1 і п'яті 6, а також створення умов вибіркового переносу і інтенсивного відведення тепла з зони контакту спряжених сферичних поверхонь упорних торців цапфи лапи і шарошки.

Джерела використаної інформації:

1. Долговечность шарошечных долот. / Жидовцев Н.А., Кершенбаум В.Я., Гинзбург Э.С. и др. - М: Недра, 1992. - 272 с.
2. А. с. 1180477 СССР, МКИ E21B 10/22. Опора бурового шарошечного долота / К.Б. Кацов, С.И. Кантор, Р.М. Билозир, М.А. Пятибратов (СССР). - № 3714817/22-03; Заявлено 19.12.83; Опубл. 23.09.85, Бюл. № 35.-2 с.
3. United States Patent 309534 Current U.S. Class 384/96; 175/359; 175/372. Current International Class E21B 10/24 (20060101); E21B 10/08 (20060101) Issue Date: July 2, 1963 // <http://www.uspto.gov>.
4. United States Patent 2339161 Current U.S. Class 384/92; 175/370; 175/372; 384/906. Current International Class E21B 10/08 (20060101); E21B 10/22 (20060101) Issue Date: January 11, 1944 // <http://www.uspto.gov>.
5. Буровое долото на стандартных вставных подшипниках качения // <http://www.inventa-ua.com/birzha/ru/drillru.htm>.-10 с.
6. А. с. 629311 СССР, МКИ E21B 9/08. Опора бурового шарошечного долота / Т.Г. Арошавили, Ю.Е. Владиславлев, В.С. Кантор, Т.А. Ильк, Ю.М. Голубьев (СССР). - № 1995374/22-03; Заявлено 14.12.73; Опубл. 25.10.78, Бюл. № 12.-2 с.
7. 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).
8. Smith Bits: каталог продукции 2007-2008: каталог / [сост. Smith International] - U.S.A. Texas, Houston: Smith International, Inc., 2007.-65 с.
9. Орлов П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 2. / П.И. Орлов. - [изд. 2-е, перераб. и доп.]. - М.: Машиностроение, 1977. - с. 422.
10. Пат. 38858 Україна, МПК E21B 10/22, E21B 9/08 Опора бурового шарошкового долота. / Ю.Д. Петрина, Р.С. Яким (Україна); заявник і патенто власник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - № 200809051; заявл. 10.07.08; опубл. 26.01.2009 Бюл. № 2.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Опора бурового шарошкового долота, що містить цапфу, на якій змонтовано шарошку за допомогою замкового підшипника кочення і кінцевого підшипника ковзання, що складається з п'яти, встановленої в циліндричній виточці у центральній частині торця цапфи, а також містить засіб розвантаження замкового підшипника, виготовлений у вигляді запобіжного виступу на підп'ятнику, і в центральній частині торця цапфи виконується сферична виточка, що спряжена з циліндричною виточкою із утворенням посадкової поверхні, в яку вставлено п'яту, зафіксовану

Продовження додатку II

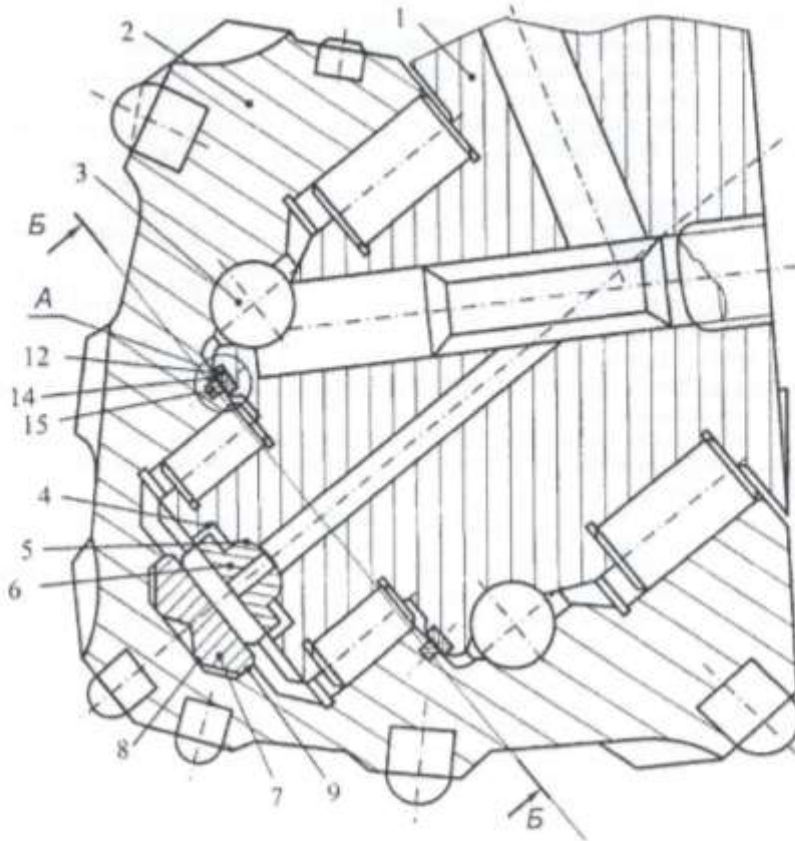
UA 99530 C2

штифтами, а вздовж п'яти та торця опори у вертикальному напрямку виконаний паз для підводу охолоджуючого агента, яка відрізняється тим, що в опору додатково введено осьовий підшипник ковзання "упорний торець цапфи лапи - упорний торець шарошки", де на упорний торець цапфи лапи з зовнішнім діаметром $D_{ТЦ}$ наплавляється антифрикційний зносостійкий

- 5 сплав і його робоча площина має форму випуклої сферичної поверхні радіусом $R_{сф.вип.}$, а упорний торець шарошки цементується та виконується з антифрикційними вставками, розташованими у шаховому порядку з середнім рядом по діаметру $D_{Св.}$, що чисельно рівний середньому діаметру $D_{Ср.ТЦ}$ упорного торця цапфи лапи, і його робоча площина має форму

увігнутої сферичної поверхні радіусом $R_{сф.увіг.}$, при цьому виконуються умови: $\frac{R_{сф.вип.}}{D_{ТЦ}} = 0,8...1,0$,

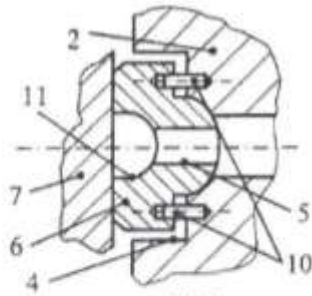
- 10 $\frac{R_{сф.увіг.}}{R_{сф.вип.}} = 1,01...1,02$.



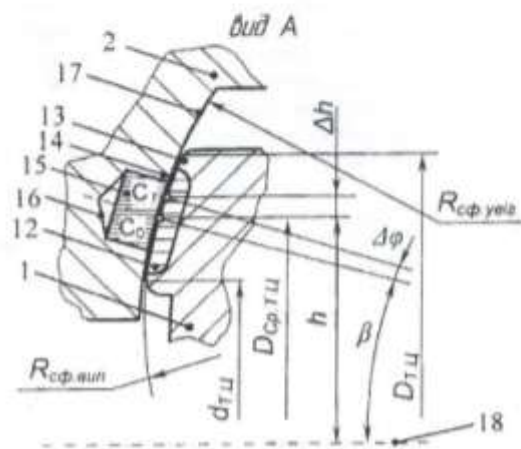
Фіг. 1

Продовження додатку II

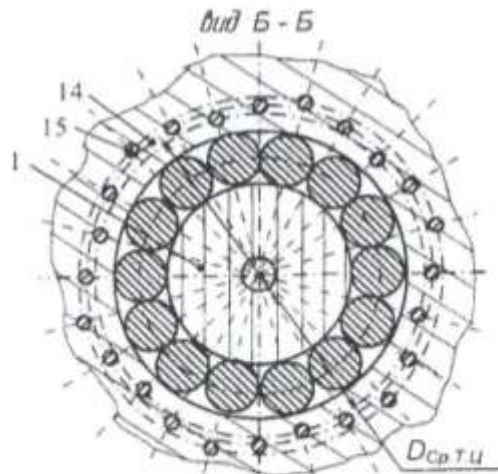
UA 99530 C2



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Комп'ютерна верстка Л.Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток К



про освоєння виробництвом виготовлення тришарошкових бурових доліт з герметизованою опорою згідно Пат. 99363

Комісія ТзОВ „Універсальна бурова техніка” в складі:
Голови – технічного директора Л. Є. Шмандровського
і членів:

*директора з якості А. Ю. Колодія,
провідного інженера-конструктора Я. Р. Круглія,
начальника планово-економічного відділу Т.Д. Шумади*

свідчить про те, що застосування конструкції долота з плаваючою втулкою в опорі ковзання дає значно кращу плавність обертання шарошок проти базової конструкції. Зокрема, при стендових випробовуваннях дослідного долота не виявлено відмов цих опор у процесі пуску і припрацювання долота на вибої. Зауважено краще самовстановлення і стійкість опори до ударних навантажень. Введення додаткового осьового підшипника ковзання „упорний торець цапфи лапи – упорний торець шарошки” забезпечує підвищення стабільності роботи опори в осьовому напрямку і при перевантаженні опори забезпечує стійкість до утворення значних зносів у навантаженій зоні, що спричинюють до утворення зазорів в опорі, ризання шарошки і її заклинювання на вибої. Також за допомогою мідних вставок покращуються умови мащення і відведення тепла з зони контакту упорних торців шарошки і цапфи лапи. Все це підвищує якість та конкурентоздатність доліт.

Технічний директор

Директор з якості

Провідний інженер-конструктор

Начальник

планово-економічного відділу

Л. Є. Шмандровський

А. Ю. Колодій

Я. Р. Круглій

Т.Д. Шумада

Додаток Л




А К Т

про освоєння виробництвом результатів науково – дослідної роботи
 з підвищення якості опор тришарошкових бурових доліт

Даний акт складений про те, що аспірант Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Яким Ігор Степанович провів науково-дослідні роботи на ТОВ „Унібуртех“. Метою яких була розробка науково-технічної бази для створення конструкторсько-технологічних і організаційних процесів для освоєння і якісного виготовлення тришарошкових бурових доліт з осьовими підшипниками ковзання. Результати науково-дослідної роботи розглянуті та обговорені на технічній нараді ТзОВ „Універсальна бурова техніка“ з підвищення якості та довговічності опор тришарошкових бурових доліт, на основі чого прийняті до впровадження при проектуванні, конструюванні і виготовленні рекомендацій щодо підвищення якості та довговічності осьових підшипників ковзання і особливо „упорний торець лапи – упорний торець шарошки“ виконаною згідно Пат. 99530. Також рекомендується підвищити якість процесу наплавлення упорних торців цапф лап зносостійким матеріалом. Стендовими випробуваннями встановлено, що конструкція осьового упорного підшипника ковзання „упорний торець цапфи – упорний торець шарошки“ дозволяє стабілізувати роботу опори і підвищити її несучу здатність в осьовому напрямку за рахунок регламентованого і прогнозованого зміщення контактуючих упорних торців шарошки відносно осі цапфи лапи.

Експертні оцінки інженерно-економічних служб ТзОВ „УНІБУРТЕХ“ показали на ефективність результатів науково-дослідної роботи Якіма І. С.

Директор з якості

 Колодій А.Ю

Технічний директор

 Шмандровський Л.Є.

Провідний інженер-конструктор

 Я.Р.Круглій

Додаток М

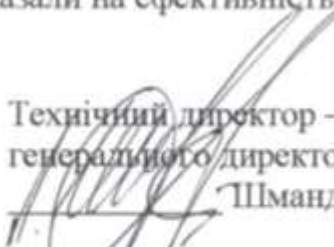


А К Т

про впровадження виробництвом результатів науково-дослідної роботи з підвищення якості бігових доріжок опор тришарошкових бурових доліт

Даний акт складений про те, що аспірант Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Яким Ігор Степанович провів науково-дослідні роботи на ТОВ „Унібургтех”. Метою яких була розробка науково-технічної бази для створення конструкторсько-технологічних і організаційних процесів для освоєння і якісного виготовлення тришарошкових бурових доліт. Результати науково-дослідної роботи розглянуті та обговорені на технічній нараді ТОВ „Універсальна бурова техніка” зі зниження браку та підвищення якості бігових доріжок опор тришарошкових бурових доліт. Аналізували встановлені Якимом І. С. умови забезпечення точності та стабільності отримання заданих конструкторських показників бігових доріжок шарошок та цапф лап, що пропонується виконувати у єдиному процесі автоматизованого точіння. Оцінка шорсткості на оброблених поверхнях бігових доріжок як у шарошці так і на цапфі лапи показала, що технологія точіння забезпечує задану високу якість, що є важливим з огляду на високі вимоги до контактної витривалості елементів опор доліт. Постановлено впровадити у мехобробку режим високошвидкісного оброблення (HSM – High Speed Machining), а також спеціальні різці зі змінними пластинами з твердого матеріалу на основі кубічного нітриду бору. Для оброблення цапф лап по безцентровій технології обов'язково враховувати можливості вібрації заготовки та застосовувати спеціальні вібростійкі різальні пластини.

Експертні оцінки інженерно-економічних служб ТОВ „УНІБУРТЕХ” показали на ефективність результатів науково-дослідної роботи Якіма І. С.

Технічний директор – заступник
генерального директора
 Шмандровський Л.С.

Директор з якості
 Колодій А.Ю

Головний конструктор
 Круглій Я.Р.

Додаток Н



Продовження додатку Н

(11) 99966

(19) UA

(51) МПК
E21B 10/16 (2006.01)

(21) Номер заявки:	а 2010 15147	(72) Винахідники:	Яким Роман Степанович, UA, Петрина Юрій Дмитрович, UA, Яким Ігор Степанович, UA
(22) Дата подання заявки:	16.12.2010	(73) Власник:	ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, вул. Карпатська, 15, м. Івано- Франківськ, 76019, Україна, UA
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	25.10.2012		
(41) Дата публікації відомостей про заяву та номер біюлетеня:	10.01.2012, Бюл. № 1		
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер біюлетеня:	25.10.2012, Бюл. № 20		

(54) Назва винаходу:

ЗУБОК ШАРОШКИ БУРОВОГО ДОЛОТА

(57) Формула винаходу:

Зубок шарошки бурового долота, який містить хвостовик і уражаючу головку клиноподібної форми з робочими гранями, де задня вилукла, а передня вигнута у вигляді циліндричної поверхні, вісь якої перпендикулярна площині симетрії зубка, задня грань якого має сферичну форму, а на передній грані є канавки, що можуть бути виконані напівкруглого перерізу і відносно осі зубка можуть бути розташовані в позадвожньому напрямку, під гострим кутом до осі зубка, при цьому кромки двох осьових канавок можуть бути виконані у вигляді ребра клиноподібного поперечного перерізу чи трапецієподібного поперечного перерізу, а хвостовик містить основу, виконану у вигляді конуса при вершині 120°, який відрізняється тим, що циліндричний твердосплавний хвостовик містить конусоподібну порожнину із заокругленою вершиною радіусом $R_{\text{ног}}=2,5$ мм, діаметр основи d і глибина $h_{\text{отв}}$, якої визначається з співвідношень:

$$D_1/d=2, h_{\text{отв}}/h_{\text{хв}}=1,37 \dots 1,39,$$

де D_1 - діаметр хвостовика зубка, мм, $h_{\text{отв}}$ - глибина порожнини в тілі зубка, $h_{\text{хв}}$ - висота хвостовика зубка,

яка заповнена матеріалом, що має границю пружності і тріщиностійкості, вищу за матеріал тіла зубка, крім цього хвостовик додатково оснащений втулкою, що має в основі конус, розміри якої відповідають співвідношенням:

$$0,69 < D_1/D_2 < 1; 0,4 \leq D_1 N_1/D_2 N_2 \leq 0,5,$$

де D_1 - діаметр внутрішньої поверхні втулки, D_2 - діаметр зовнішньої поверхні втулки, N_1 - натяг, що забезпечується внутрішньою поверхнею втулки діаметром D_1 , N_2 - натяг, що забезпечується зовнішньою поверхнею втулки діаметром D_2 .

Продовження додатку Н



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **99966** (13) **C2**
(51) МПК
E21B 10/16 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2010 15147</p> <p>(22) Дата подання заявки: 16.12.2010</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.10.2012</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 10.01.2012, Бюл.№ 1</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.10.2012, Бюл.№ 20</p>	<p>(72) Винахідник(и): Яким Роман Степанович (UA), Петрина Юрій Дмитрович (UA), Яким Ігор Степанович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 85941 C2, 10.03.2009 UA 38856 U, 26.01.2009 SU 1353885 A1, 23.11.1987 SU 1174553 A, 23.08.1985 RU 2057889 C1, 10.04.1996 SU 848565, 23.07.1981 SU1677230 A1, 15.09.1991 US 4150728 A, 24.04.1979 US 4108260 A, 22.08.1978</p>
---	---

(54) ЗУБОК ШАРОШКИ БУРОВОГО ДОЛОТА**(57) Реферат:**

Зубок шарошки бурового долота містить хвостовик і уражаючу головку клиноподібної форми з робочими гранями, де задня випукла, а передня ввігнута у вигляді циліндричної поверхні. Задня грань має сферичну форму, а на передній грані є канавки. Хвостовик містить основу, виконану у вигляді конуса при вершині 120°. Для підвищення надійності з'єднання "зубок-шарошка" циліндричний твердосплавний хвостовик містить конусоподібну порожнину із заокругленою вершиною радіусом $R_{\text{пор}}=2,5$ мм, діаметр основи d і глибина $h_{\text{отв}}$ якої визначається з співвідношень:

$$D_1/d=2, h_{\text{отв}}/h_{\text{зв}}=1,37 \dots 1,39,$$

де D_1 - діаметр хвостовика зубка, мм,

$h_{\text{отв}}$ - глибина порожнини в тілі зубка,

$h_{\text{зв}}$ - висота хвостовика зубка,

яка заповнена матеріалом, що має границю пружності і тріщиностійкості вищу за матеріал тіла зубка, крім цього хвостовик додатково оснащений втулкою, що має в основі конус, розміри якої відповідають співвідношенням:

$$0,69 < D_1/D_2 < 1; 0,4 \leq D_1 N_1 / D_2 N_2 \leq 0,5,$$

де D_1 - діаметр внутрішньої поверхні втулки,

D_2 - діаметр зовнішньої поверхні втулки,

N_1 - натяг, що забезпечується внутрішньою поверхнею втулки діаметром D_1 ,

N_2 - натяг, що забезпечується зовнішньою поверхнею втулки діаметром D_2 .

UA 99966 C2

Продовження додатку Н

UA 99966 C2

Винахід належить до техніки для буріння глибоких нафтових і газових свердловин та може бути використаний в бурових шарошкових долотах, призначених для роботи в породах середньої та м'якої твердості й високої в'язкості.

5 Якість закріплення вставних композиційних зубків в тілі шарошки є одним з головних чинників, що визначає надійність бурового долота в цілому. У свою чергу конструкція хвостовика зубка визначає можливості з'єднання та впливає на надійність з'єднання "зубок-шарошка". А це в свою чергу впливає на експлуатаційні показники вставних зубків і в цілому породоруйнівного оснащення долота. Тому вдосконалення конструкції зубків є актуальним і має важливе практичне значення.

10 Твердосплавне вставне породоруйнівне оснащення сучасних шарошкових доліт відрізняється великою різноманітністю конструкцій твердосплавних зубків. Поряд з класичними клиноподібною і конічною формами зубків щораз більш широке застосування отримують зубки асиметричних форм. Особливе місце серед них займають зубки з черпакоподібною формою вражаючої головки. В таких зубах передня вгнута грань має сферичну чи циліндричну форму, що дозволяє найкраще використовувати ефект черпання і підвищує здатність до відведення шлему.

15 Як відомо, ефективність руйнування породи залежить від величини діючих навантажень і часу контакту зубка з породою, що розбурюється, в якій за цей період встигають розповсюдитись критичні напруження. У момент співудару зубка твердосплавного озброєння з вибоєм за короткий момент часу здійснюється наростання ударного навантаження від нуля до максимуму. За цей час напруження, які відповідають максимальному значенню ударного навантаження, встигають розповсюдитись лише в обмеженому об'ємі породи [1]. У всіх випадках об'єм розповсюдження цих напружень в зубку перевищує об'єм розповсюдження їх в породі, що розбурюється внаслідок відмінності фізико-механічних властивостей матеріалів породи і зубка. Разом з тим величина напружень, які розповсюджуються за час контакту зубка з породою, визначається середнім значенням ударного навантаження, значно меншим за її максимальну величину. Відомо, що час наростання ударного навантаження залежить від жорсткості системи "порода-зубок-шарошка". При відомих міцнісних характеристиках породи, матеріалів зубків породоруйнівного оснащення і шарошки, жорсткість системи "порода-зубок-шарошка" можна оптимізувати шляхом відповідного підбору хіміко-термічної обробки віncів шарошок, відповідних натягів в спряженні зубок-шарошка і введення відповідних конструктивних елементів. Зокрема, збільшення глибини посадки зубка в шарошку та його діаметру призводить до росту зусилля розпресовування.

20 Відомі конструкції зубків [2], в яких хвостовик і уражаюча головка має клиноподібну форму з робочими гранями - задньою випуклою і передньою ввігнутою у вигляді циліндричної поверхні, вісь якої перпендикулярна площині симетрії зубка. В зубку задня грань має сферичну форму. На передній грані є канавки. Канавки можуть бути виконані напівкруглого перерізу. Канавки відносно до осі зубка можуть бути розташовані в позадвожньому напрямку, під гострим кутом до осі зубка. Кромки двох осьових канавок можуть бути виконані у вигляді ребра клиноподібного поперечного перерізу чи трапецієподібного поперечного перерізу. Не дивлячись на очевидні переваги такого типу форми зубка конструкція має суттєвий недолік, суть якого полягає в наступному. При перехочуванні шарошки по вибою в системі "шарошка-зубок-порода" виникають згинальні моменти, що спричиняють проблему міцності як зубка, так і жорсткості та надійності з'єднання "зубок-шарошка". Усунути цю проблему за рахунок збільшення поперечного перерізу зубка є неможливим, оскільки це неминуче знижує функціональні можливості зубка. Крім цього, значне збільшення глибини посадки зубка спричиняє негативний вплив на міцність шарошки. З іншої сторони, процес формування отворів під зубок здійснюється на різних етапах хіміко-термічної обробки шарошок. Використання розмірного інструменту із зменшеною західною частиною призводить до зниження точності отвору. Підвищення точності виготовлення хвостовика під посадку в шарошку також не може значно підвищити надійність з'єднання "зубок-шарошка". Разом з тим відома конструкція породоруйнівної вставки [3], що включає корпус, твердосплавний елемент (зубок), хвостовик, запресований в гнізді корпусу інструмента за допомогою проміжної втулки, яка має дно з центральним отвором і циліндричні виточки на боковій поверхні зі сторони дна, виконані по посадці із зазором, а розміри проміжної втулки відповідають співвідношенням: $0,69 < \frac{d_1}{d_2} < 1$; $0,4 \leq \frac{d_1 N_1}{d_2 N_2} \leq 0,5$, де d_1 - діаметр внутрішньої

45

50

55

поверхні втулки, d_2 - діаметр зовнішньої поверхні втулки, N_1 - натяг, що забезпечується внутрішньою поверхнею втулки діаметром d_1 , N_2 - натяг, що забезпечується зовнішньою поверхнею втулки діаметром d_2 , а хвостовик виконаний двоступеневим із рівними по висоті

Продовження додатку Н

UA 99966 C2

ступенями, діаметри яких відповідають співвідношенню: $\frac{d_3}{d_4} = \frac{1,8}{1,5}$, де d_3 - діаметр більшого

ступеня хвостовика, d_4 - діаметр меншого ступеня хвостовика; до того ж, додатково введено кільце, що запресоване на менший ступінь і на якому виконана конусна розточка торців отвору кільця із заокругленням в західній частині кільця $r=1$ мм, де розмір кута конусності α вибирають із співвідношенням $\operatorname{tg}\alpha=0,016\pm 0,020$. Однак, як показали випробовування, дана конструкція не може бути застосована у випадках, коли треба суттєво підвищити виліт вставного зубка.

Відома конструкція породоруйнівної вставки [4], що містить циліндричну основу з порожниною у вигляді половини сфери та породоруйнівною частиною. Центр половини сфери порожнини розташований на перетині повздовжньої осі вставки з нижньою площиною основи. Проте практика пресування породоруйнівних вставок згаданої конструкції виявила часте руйнування по краях основи хвостовика. Також значна жорсткість з'єднання вставки з тілом породоруйнівного інструменту призводила до виходу з ладу інструменту. Цю проблему усунуто в конструкції твердосплавного зубка для бурового інструменту [5], що містить робочу головку, циліндричний хвостовик з порожниною і розташований в ньому диск. Між диском і дном порожнини хвостовика утворена герметизована камера, заповнена нестисливою рідиною з температурою кипіння вищою за температуру нагріву хвостовика в процесі роботи. Порожнина хвостовика і диск мають відповідні циліндричні ділянки, виконані з натягом. Проте конструкція циліндричної ділянки спряження поверхні входу в порожнину хвостовика циліндричною ділянкою диску не забезпечує компенсацію напружень при пресуванні зубка в тіло інструменту, що призводить до частого руйнування вставного породоруйнівного оснащення. Також при бурінні спостерігається випадання вставних зубків внаслідок ненадійного їх закріплення.

Найбільш близьким до запропонованої конструкції є зубок шарошки бурового долота [6], який містить хвостовик і уражаючу головку клиноподібної форми з робочими гранями, де задня випукла, а передня ввігнута у вигляді циліндричної поверхні, вісь якої перпендикулярна площині симетрії зубка, задня грань якого має сферичну форму, а на передній грані є канавки, що можуть бути виконані напівкруглого перерізу і відносно до осі зубка можуть бути розташовані в повздовжньому напрямку, під гострим кутом до осі зубка, при цьому кромки двох осьових канавок можуть бути виконані у вигляді ребра клиноподібного поперечного перерізу чи трапецієподібного поперечного перерізу, а хвостовик містить основу, виконану у вигляді конуса при вершині 120° . Однак освоєння виробництва такої конструкції наштовхнулося на проблему надлишкової розтрати цінного твердого сплаву, що застосовується для виготовлення зубків. Також конструкція не забезпечує необхідної стійкості до руйнування зубка при його пресуванні в тіло шарошки.

Задача, що ставилась при створенні винаходу, - вдосконалити конструкцію зубка з метою оптимізації жорсткості системи "шарошка-зубок-порода" шляхом підвищення надійності з'єднання "зубок-шарошка" при забезпеченні економії цінних твердих сплавів.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що у зубку, який містить хвостовик і уражаючу головку клиноподібної форми з робочими гранями, де задня випукла, а передня ввігнута у вигляді циліндричної поверхні, вісь якої перпендикулярна площині симетрії зубка, задня грань якого має сферичну форму, а на передній грані є канавки, що можуть бути виконані напівкруглого перерізу і відносно до осі зубка можуть бути розташовані в повздовжньому напрямку, під гострим кутом до осі зубка, при цьому кромки двох осьових канавок можуть бути виконані у вигляді ребра клиноподібного поперечного перерізу чи трапецієподібного поперечного перерізу, а хвостовик містить основу, виконану у вигляді конуса при вершині 120° , згідно з винаходом циліндричний твердосплавний хвостовик містить конусоподібну порожнину із заокругленою вершиною радіусом $R_{\text{пор}}=2,5$ мм, діаметр основи d і глибина $h_{\text{отв}}$ якої визначається з співвідношень:

$$D_1/d=2, h_{\text{отв}}/h_{\text{зв}}=1,37\dots 1,39,$$

де D_1 - діаметр хвостовика зубка, мм, $h_{\text{отв}}$ - глибина порожнини в тілі зубка, $h_{\text{зв}}$ - висота хвостовика зубка,

яка заповнена матеріалом, що має границю пружності і тріщиностійкості вищу за матеріал тіла зубка, крім цього хвостовик додатково оснащений втулкою, що має в основі конус, виконується з втулкою, розміри якої відповідають співвідношенням:

$$0,69 < D_1/D_2 < 1; 0,4 \leq D_1 N_1 / D_2 N_2 \leq 0,5,$$

де D_1 - діаметр внутрішньої поверхні втулки, D_2 - діаметр зовнішньої поверхні втулки, N_1 - натяг, що забезпечується внутрішньою поверхнею втулки діаметром D_1 , N_2 - натяг, що забезпечується зовнішньою поверхнею втулки діаметром D_2 .

Виконання хвостовика зубка з втулкою, що має в основі конус, дозволяє не тільки оптимізувати жорсткість системи "шарошка-зубок-порода", а й створює можливості підвищення

Продовження додатку Н

UA 99966 C2

міцності з'єднання "зубок-шарошка". Також втулка, виконуючи роль проміжного елемента між твердосплавним хвостовиком і сталлю тіла шарошки долота, усуває ризик крихкого руйнування хвостовика в умовах дії значних динамічних навантажень. Виконання в зубку циліндричного хвостовика з конусоподібною порожниною, що заповнюється матеріалом, який має границю пружності і тріщиностійкості, вищу за матеріал тіла зубка, дозволяє не тільки підвищити пружність і міцність тіла зубка, а й зекономити цінний твердий сплав, з якого виготовляють зубки.

Винахід ілюструється кресленням, де на фіг. 1 показано зубок шарошки бурового долота, загальний вигляд; на фіг. 2 - вигляд по стрілці А на фіг. 1; на фіг. 3 - вигляд зверху на фіг. 2; на фіг. 4 - переріз Б - Б на фіг. 2; на фіг. 5 - зубок з трьома канавками напівкруглого перерізу; на фіг. 6 - переріз В - В на фіг. 5; на фіг. 7 - зубок з канавками, розташованими під гострим кутом до осі зубка; на фіг. 8 - зубок, у якого кромки двох сусідніх канавок виконані у вигляді ребра з трапецієподібним поперечним перерізом; на фіг. 9 - переріз Г - Г на фіг. 8.

Зубок шарошки бурового долота містить уражаючу головку 1 клиноподібної форми, хвостовик 2 і втулку 3. Головка 1 має задню 4 сферичну випуклу грань, радіус сфери якої $R_{\text{сф.зр.}}$ залежить від параметрів спряження між головкою 1 та хвостовиком 2, а також передню 5 вгнуту грань у вигляді циліндричної поверхні, радіус циліндричності якої $R_{\text{цил.зр.}}$ залежить від параметрів спряження між головкою 1 та хвостовиком 2. Вісь 6 циліндричної поверхні розташована перпендикулярно до площини симетрії зубка. На передній 5 грані розташовані канавки 7, які можуть бути напівкруглого перерізу, а в поздовжньому напрямку можуть бути виконані у вигляді частини кільця, що створює поверхню 7 радіус сфери якої $R_{\text{сф.квн.}}$ залежить від параметрів спряження між головкою 1 і хвостовиком 2. Канавки 7 можуть бути розташовані відносно до осі зубка в поперечному напрямку, чи в поздовжньому напрямку або під гострим кутом до осі зубка. У залежності від твердості і пластичності порід, що розбурюються, кромки двох сусідніх канавок 6 можуть бути виконані у вигляді ребра 8, яке в поперечному перерізі має клиноподібну чи трапецієподібну форму. Хвостовик 2 містить конусоподібну порожнину 9 з заокругленою вершиною радіусом $R_{\text{окр.}}$ =2,5 мм, що заповнюється матеріалом 10, який має границю пружності і тріщиностійкості, в'язкості, вищу за матеріал тіла зубка 2. Втулка 3 містить основу у вигляді конуса 11 з вершиною 120°.

Геометричні параметри радіусу сфери $R_{\text{сф.зр.}}$ задньої поверхні грані 4 і радіусу циліндричності $R_{\text{цил.зр.}}$ увігнутої передньої циліндричної поверхні 5 є у співвідношенні:

$$\frac{R_{\text{но.дз}}}{R_{\text{овв.дз}}} = \frac{1}{2},$$

а геометричні параметри сферичної поверхні $R_{\text{сф.квн.}}$ канавок 7 вибираються у відповідності до радіусу r_k і глибини a канавок 6. Найбільш оптимальним розміром радіусу r_k канавки 6, у відповідності до діаметра D_1 зубка, є $r_k=(0,7-1,5)D_1$ - для доліт, призначених для роботи в породах середньої твердості і $r_k=(0,3-0,9)D_1$ - для доліт, призначених для роботи в м'яких та в'язких породах і в тому випадку, коли канавки 6 відділені один від одного ребрами з трапецієподібним поперечним перерізом. При цьому ширину b_k канавок 7 рекомендується вибирати з співвідношення $b_k=(0,2-0,45)D_1$. Кут нахилу α канавок 7 до осі зубка, для найбільш ефективного відводу шламу від місця руйнування, повинен знаходитися в межах 3-15°. При більш високій пластичності породи слід приймати максимальне значення кута, при зниженні пластичності і підвищенні крихкості - мінімальне значення.

Для забезпечення найкращої жорсткості системи "шарошка-зубок-порода" та високої надійності з'єднання "шарошка-зубок" і економії цінних твердих сплавів хвостовик 2 виконується з конусоподібною порожниною 9 із заокругленою вершиною радіусом $R_{\text{окр.}}$ =2,5 мм. Виходячи з існуючих критеріїв міцності та проведених лабораторних випробувань діаметр основи d і глибина $h_{\text{овн.}}$ конусоподібною порожнини 9 визначається з співвідношень:

$$D_1/d=2, h_{\text{овн.}}/h_{\text{овн.}}=1,37 \dots 1,39,$$

де D_1 - діаметр хвостовика зубка, мм, $h_{\text{овн.}}$ - глибина порожнини в тілі зубка, $h_{\text{овн.}}$ - висота хвостовика зубка.

Порожнина 9 для забезпечення міцності хвостовика 2 заповнюється матеріалом, який має границю пружності і в'язкості руйнування вищою за матеріал тіла зубка.

Для ефективного зниження небезпечних напружень в контакті зубок-шарошка, підвищення площі спряження і надійності з'єднання "зубок-шарошка" хвостовик 2 зубка під вакуумом запресовується у циліндричну втулку 3, що має основу 11 у вигляді конуса при вершині 120°. Розміри втулки 3 відповідають співвідношенням:

$$0,69 < D_1/D_2 < 1; 0,45 < D_1 N_1 / D_2 N_2 < 0,5,$$

де D_1 - діаметр внутрішньої поверхні втулки, D_2 - діаметр зовнішньої поверхні втулки, N_1 - натяг, що забезпечується внутрішньою поверхнею втулки діаметром D_1 , N_2 - натяг, що забезпечується зовнішньою поверхнею втулки діаметром D_2 .

Продовження додатку Н

UA 99966 C2

Товщина t стінки втулки 3 і її зовнішній діаметр D_2 є величинами різного порядку, що визначає втулку 3 тонкостінною. Для ефективного зчеплення хвостовика з тілом шарошки втулка 3 виготовляється з сталі, яка йде на виготовлення шарошки.

5 Виконання хвостовика зубка з втулкою, що має в основі конус, дозволяє не тільки оптимізувати жорсткість системи "шарошка-зубок-порода", а й створює можливість підвищення міцності з'єднання "зубок-шарошка" шляхом збільшення площі спряжених поверхонь зубка та отвору в шарошці. Також втулка виконуючи роль проміжного елемента між твердосплавним хвостовиком і сталлю тіла шарошки долата усуває ризик крихкого руйнування хвостовика в умовах дії значних динамічних навантажень. Отже відкриваються можливості для збільшення вильоту вставного зубка і підвищення його впливу на породу вибою. Виконання в зубку 10 циліндричного хвостовика з конусоподібною порожниною, що заповнюється матеріалом, який має границю пружності і в'язкості руйнування вищою за матеріал тіла зубка, дозволяє не тільки підвищити пружність і міцність тіла зубка, а й економити цінний твердий сплав з якого виготовляють зубки.

15 Зубок бурового шарошкового долота працює наступним чином. Згідно теорії і стендових досліджень кінематики руху зубків при перекочуванні шарошок по вибою і проникненні породоруйнівного оснащення в породу, клинові уражаючі головки працюють тільки передньою гранню. З метою забезпечення міцності задню грань виготовляють сферичною. При русі зубка по вибою свердловини, за рахунок наявності канавок 7, взаємодія верхньої кромки зубка 20 здійснюється не по лінії, а по складній кривій. Це створює додаткове подрібнення шламу, полегшується проникнення зубка в породу, а поздовжній напрямок канавок сприяє усуненню окремих частинок породи (особливо в пластичних породах). Нахил канавок до осі зубка під кутом α сприяє більш ефективному усуненню шламу з зони руйнування і зниженню можливості 25 повторного перенесення шламу, що в результаті сприяє збільшенню продуктивності буріння. Виконання канавок у вигляді частини кільця і напівкруглими в поперечному перерізі надає передній поверхні форму "черпака" з ребрами жорсткості. Це сприяє руйнуванню породи при 30 одиничній взаємодії зубка з вибоєм на найвищому рівні і більшій міцності вражаючої головки 1. Міцність і жорсткість зубків при згинальних навантаженнях забезпечується пружним сердечником, що заповнює порожнину твердосплавного зубка.

30 Пропонована конструкція зубка шарошки бурового долота дозволяє не тільки підвищити надійність кріплення в тілі шарошки, але й при значній економії цінних твердих сплавів забезпечити збільшення вильоту зубка, а відтак підвищити ефективність і енергію впливу породоруйнівного оснащення шарошки на породу вибою при бурінні свердловин. За рахунок використання втулки також зменшуються витрати на дорогий спеціальний різальний інструмент 35 для формування високоточних отворів в тілі шарошки, а також усунути проблему руйнування зубків при їх пресуванні.

Джерела використаної інформації:

1. Крылов К.А. Повышение долговечности и эффективности буровых долот / К.А. Крылов, О.А. Стрельцова. - М.: Недра, 1983 - 206 с.

40 2. Пат. 2057889 Российская федерация, МКИ 6 E21B 10/16. Зубок шарошки бурового долота / Бикбулатов И.К. (RU), Пагута Б.А. (UA), Гинзбург Э.С. (RU), Гук Р.И. (UA), Торгашов А.В. (RU). - № 2057889; Опубл. 10.04.96, Бюл. № 10.

3. Пат. 38856 Україна, МПК E21B 10/46. Породоруйнівна вставка / Ю.Д. Петрина, Р.С. Яким, Т.Б. Пасинович (Україна); заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний 45 університет нафти і газу. - № 200809040; заявл. 10.10.08; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.

4. А.с. 1353885. СССР, МКИ E21B 10/46 Породоразрушающая вставка / П.П. Евсеев, Р.А. Иванов, У.Н. Якимчук (СССР). - № 3911497/22-03; Заявлено 17.06.85; Опубл. 23.11.87, Бюл. № 43.

5. А.с. 1174553. СССР, МКИ E21B 10/52. Твердосплавный зубок для бурового инструмента / Р.М. Богомолов, Ю.Г. Михайлин, А.М. Чувилин, Г.П. Злобин, Л.Г. Бутаков, В.И. Заварухин, Б.Н. Волков (СССР). - № 3713178/22-03; Заявлено 21.03.84; Опубл. 23.08.85, Бюл. № 31.

6. Пат. 85941 МПК E21B 10/16, Зубок шарошки бурового долота. / Ю.Д. Петрина, Р.С. Яким, Т.Б. Пасинович (Україна); заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний 50 університет нафти і газу. - № а200707134; заявл. 25.06.07; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5.

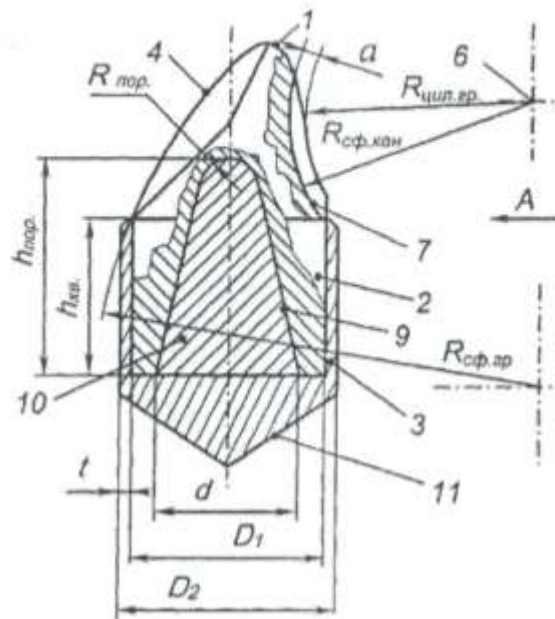
ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

55 Зубок шарошки бурового долота, який містить хвостовик і уражаючу головку клиноподібною форми з робочими гранями, де задня випукла, а передня ввігнута у вигляді циліндричної 60 поверхні, вісь якої перпендикулярна площині симетрії зубка, задня грань якого має сферичну

Продовження додатку Н

UA 99966 C2

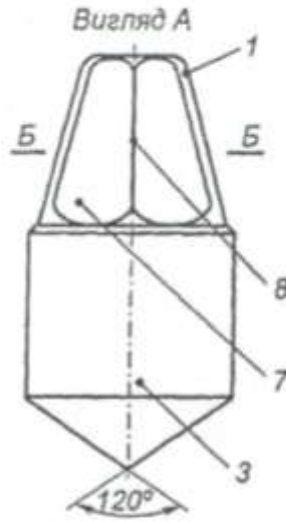
- форму, а на передній грані є канавки, що можуть бути виконані напівкруглого перерізу і відносно осі зубка можуть бути розташовані в позадвожньому напрямку, під гострим кутом до осі зубка, при цьому кромки двох осьових канавок можуть бути виконані у вигляді ребра клиноподібного поперечного перерізу чи трапецієподібного поперечного перерізу, а хвостовик містить основу, виконану у вигляді конуса при вершині 120° , який відрізняється тим, що циліндричний твердосплавний хвостовик містить конусоподібну порожнину із заокругленою вершиною радіусом $R_{пор.} = 2,5$ мм, діаметр основи d і глибина $h_{отв.}$, якої визначається з співвідношень: $D_1/d=2$, $h_{отв.}/h_{хв.}=1,37 \dots 1,39$,
- 5 де D_1 - діаметр хвостовика зубка, мм,
 $h_{отв.}$ - глибина порожнини в тілі зубка,
 $h_{хв.}$ - висота хвостовика зубка,
- 10 яка заповнена матеріалом, що має границю пружності і тріщиностійкості, вищу за матеріал тіла зубка, крім цього хвостовик додатково оснащений втулкою, що має в основі конус, розміри якої відповідають співвідношенням:
- 15 $0,69 < D_1/D_2 < 1$; $0,4 \leq D_1 N_1 / D_2 N_2 \leq 0,5$,
де D_1 - діаметр внутрішньої поверхні втулки,
 D_2 - діаметр зовнішньої поверхні втулки,
 N_1 - натяг, що забезпечується внутрішньою поверхнею втулки діаметром D_1 ,
 N_2 - натяг, що забезпечується зовнішньою поверхнею втулки діаметром D_2 .



Фіг. 1

Продовження додатку Н

UA 99966 C2



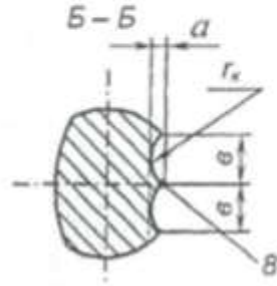
Фиг. 2



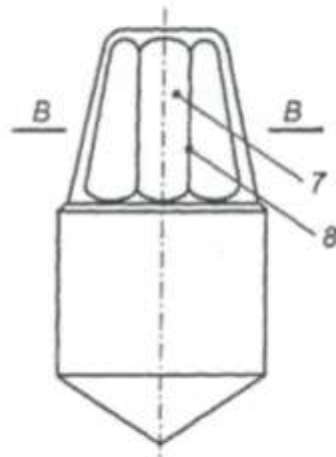
Фиг. 3

Продовження додатку Н

UA 99966 C2



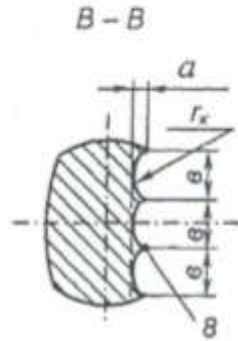
Фиг. 4



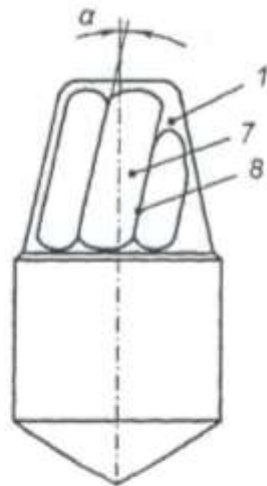
Фиг. 5

Продовження додатку Н

UA 99966, C2



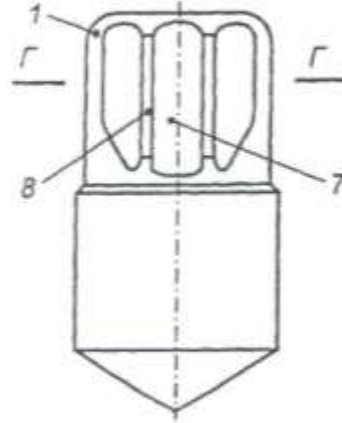
Фиг. 6



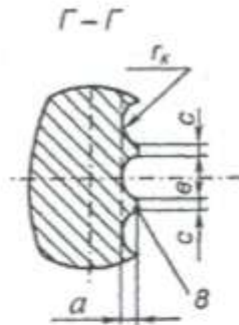
Фиг. 7

Продовження додатку Н

UA 99966 C2



Фіг. 8



Фіг. 9

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601

Додаток П

ЗАТВЕРДЖУЮ



Генеральний директор
ТОВ „УНІВЕРТЕХ”

Сотник Т.Л.

25 06 2013р.

АКТ

про застосування конструкції вставних зубків виготовлених згідно Пат. 99966
для виконання породоруйнівного оснащення тришарошкових доліт

Комісія ТзОВ „Універсальна бурова техніка” в складі:
Голови – технічного директора Л. Є. Шмандровського

і членів:

*директора з якості А. Ю. Колодія,**провідного інженера-конструктора Я. Р. Круглія**начальника планово-економічного відділу Т.Д. Шумади*

свідчить про те, що застосування конструкції вставних зубків виконаних згідно Пат. 99966, дозволяє не тільки підвищити надійність кріплення зубків у тілі шарошки, але й при економії твердих сплавів збільшити вильот зубка, а відтак підвищити ефективність впливу оснащення шарошки на породу вибою. Використання втулки зменшує витрати на спеціальний різальний інструмент для формування високоточних отворів в тілі шарошки, а також усуває проблему руйнування зубків при їх пресуванні.

Технічний директор

Л. Є. Шмандровський

Директор з якості

А. Ю. Колодій

Провідний інженер-конструктор

Я. Р. Круглій

Начальник
планово-економічного відділу

Т.Д. Шумада

Додаток Р

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

ТОВ „УНІБУРТЕХ”

Сотник Т.Л.

03 2015р.



А К Т

про впровадження виробництвом результатів науково-дослідної роботи з підвищення якості формоутворення отворів під вставні твердосплавні вставки в шарошках бурових доліт

Даний акт складений про те, що аспірант Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Яким Ігор Степанович провів науково-дослідні роботи на ТОВ „Унібургтех”. Метою яких була розробка 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.

Результати науково-дослідної роботи розглянуті та обговорені на технічній нараді ТОВ „Універсальна бурова техніка” зі зниження браку та підвищення якості гірничорудних тришарошкових бурових доліт. У результаті рекомендується доцільним підвищити рівень якості технологічних операцій із захисту вінців від цементації шарошок. Також внесено зміни у параметри різання при свердлінні отворів під вставні зубки для забезпечення прийнятної продуктивності процесу. Наприклад, для свердла діаметром 14,335мм оптимальні параметри різання: частота обертання інструмента $n=1000$ об/хв., подача $s=0,1$ мм/об., швидкість різання $v=45$ м/хв., що збільшує кількість просвердлених отворів одним свердлом до 200 – 240шт. Також внесено зміни до технічних вимог щодо якості термообробки шарошок, яка 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.

Експертні оцінки інженерно-економічних служб ТОВ „УНІБУРТЕХ” показали на ефективність результатів науково-дослідної роботи Якіма І. С.

Технічний директор – заступник
генерального директора
Шмандровський Л.Є.

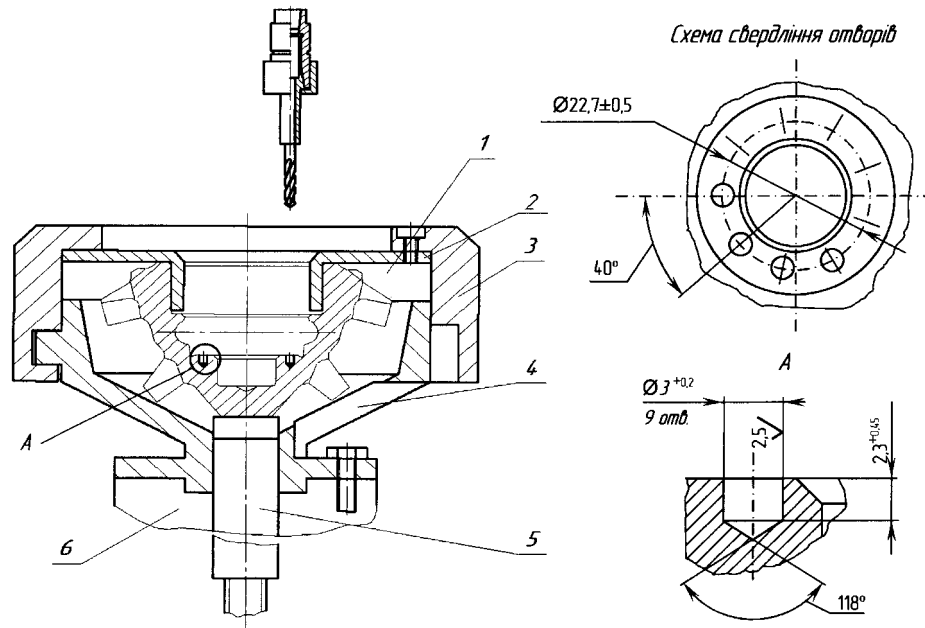
Директор з якості
Колодій А.Ю

Головний конструктор
Круглій Я.Р.

Додаток С

Оптимізація параметрів свердління отворів за критеріями стійкості різання.

У цементованому упорному торці виконуються отвори, у які запресовують вставки з антифрикційного сплаву. З цією метою розроблено технологію свердління отворів під вставки в упорному торці шарошки на настільно-свердлувальному верстаті 2М-112.



- 1 – пристрій установочний; 2 – втулка установлювальна; 3 – диск;
4 – чашка; 5 – затискний гвинт; 6 – пристрій – колесо ходове

Рис. 1. Свердління отворів під вставки в упорному торці шарошки долота 130,2 М-ПН D118 на оброблювальному центрі МСV

Для автоматизації операції свердління отворів, а також підвищення точності формоутворення отворів, здійснено дослідження можливості застосування оброблювальних центрів МСV. З цією метою вирішено задачу оптимізації параметрів свердління отворів за критеріями стійкості різання.

$$\text{Згідно формули } x_{i_{k+2}} = \frac{2}{k} \sum_u x_{i_u} - x_i^*$$

де $x_{i_{k+2}}$ – координати нової вершини, є дзеркальним відображенням вершини, яка відкидається при русі симплекса,

x_i^* – координата вершини, що відкидається при русі симплекса,

Продовження додатку С

$\frac{1}{k} \sum_u x_{i_u}$ – середнє значення координат всіх точок симплексу, крім тієї яка відкидається.

встановлювали значення координат точки A'

$$1,5 = \frac{\tilde{x}_1 - 350}{200}, \quad 0,86 = \frac{\tilde{x}_2 - 0,05}{0,01},$$

звідки $\tilde{x}_1 = 650$ об/хв., $\tilde{x}_2 = 0,05$ мм/об.

Табл. 1. Результати симплексного планування та результати експериментальних досліджень для встановлення оптимальних параметрів різання для свердління отворів $\varnothing 3,0$ мм в упорному торці опори шарошки зі сталі 14ХНЗМА-В

№ п/п	Симплекс	Вершина, в якій ставиться дослід	Частота обертання, \tilde{x}_1		Подача, \tilde{x}_2		Стійкість, хв
			код	об/хв	код	мм/об	
1	ABC	A	0	350	0	0,05	10,5
2	ABC	B	0,5	450	0,86	0,06	14,2
3	ABC	C	1,0	550	0	0,05	12,3
4	BCA'	A'	1,5	650	0,86	0,06	19,5
5	$CA'B'$	B'	2,0	750	0	0,05	21,1
6	$A'B'C'$	C'	2,5	550	0,86	0,06	25,2
7	$A'C'B''$	B''	2,0	750	1,72	0,07	29,2
8	$A'B''C''$	C''	1,0	850	1,72	0,07	17,6
9	$C'B''A'''$	A'''	3,0	950	1,72	0,07	5,9
10	$B''A''C'''$	C'''	2,5	850	2,58	0,08	6,1
11	$B''C''A'''$	A'''	1,5	650	2,58	0,08	8,8

Аналізом характеру руху симплексу встановлено, що найбільша стійкість свердел у досліджуваній технологічній операції є в точці B'' . Після цього симплекс починає обертатися навколо цієї точки, що і є ознакою завершення процесу оптимізації згідно побудованої схеми руху. У результаті оптимальними вважатимемо параметри: частота обертання рівна 750об/хв., а подача 0,07мм/об.

Додаток Т

**ТЗОВ «УНІВЕРСАЛЬНА БУРОВА ТЕХНІКА»**

82100, Львівська область, м. Дрогобич, вул. Турапа, 20, Україна тел./факс (03244)57009, e-mail: info@unidrilltech.com
СДРПГОУ 37349178, індивідуальний податковий №373491713090, свідоцтво №100310417

ДОВІДКА

про те, що отримані Якимом Ігорем Степановичем результати теоретично-експериментальних досліджень щодо застосування процесного підходу для формування якості тришарошкових бурових доліт на етапах їхнього життєвого циклу, були використані при вдосконаленні заводської технології виготовлення тришарошкових бурових доліт

Яким Ігор Степанович аспірант кафедри технології нафтогазового машинобудування Інституту інженерної механіки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу запропонував метод комплексного підвищення якості тришарошкових бурових доліт на основі інформаційних інтегрованих систем та CALS-технологій і процесності. Для ефективної реалізації такого процесу Ігор Степанович, на основі експериментальних заводських досліджень, у яких приймав особисту участь, розробив структури єдиної інформаційної системи підтримки процесів проектування, підготовки виробництва і виготовлення тришарошкових бурових доліт, а також системи комплексного підвищення якості доліт на довиробничому та виробничому етапах їх життєвого циклу. Вдосконалено інженерну методику побудови оптимального технологічного маршруту, що відрізняється критеріями оптимальності варіанту технологічного процесу з позицій множини конструкторських, технологічних, функціонально-експлуатаційних, економічних показників якості технологічних операцій. Застосування такого підходу забезпечило ТОВ „Універсальна бурова техніка” високу гнучкість в створенні і освоєнні передових конструкцій та нових типорозмірів тришарошкових бурових доліт. При цьому задовольняються всі вимоги згідно ISO 9001 та ISO 10424.

Створені Якимом І. С. нові шляхи підвищення якісних показників тришарошкових бурових доліт застосовуються підприємством у рамках прийнятої політики якості.

Генеральний директор
ТОВ „УНІБУРТЕХ”



Сотник Т.Л.

001582

Додаток Ф



ТЗОВ «УНІВЕРСАЛЬНА БУРОВА ТЕХНІКА»

82100, Львівська область, м.Дрогобич, вул.Тураша, 20, Україна тел./факс.(03244)57009, e-mail:info@unidrilltech.com
СДРПОУ 37349178, індивідуальний податковий №373491713090, свідоцтво №100310417



ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

ТОВ «Унібуртех»

Сотник Т.Л.

10 2015р.

АКТ

про впровадження виробництвом результатів науково-дослідної роботи з
підвищення якості тришарошкових бурових доліт

Даний акт складений про те, що аспірант кафедри технології нафтогазового машинобудування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Яким Ігор Степанович провів науково-дослідні роботи на ТОВ «Унібуртех» в результаті чого вдалося здійснити вдосконалення базової конструкторсько-технологічної документації, впроваджено нові конструкції бурових доліт, вдосконалено підготовку виробництва й технологічні процеси виготовлення тришарошкових бурових доліт типорозмірів: 130,2мм; 215,9мм; 224,5мм; 244,5мм; 250,8мм; 295,9мм; 393,7мм; 444,5мм; 490мм.

У результаті отримано сумарну економічну ефективність від впроваджень в розмірі 2,958 млн. грн. за результатами роботи підприємства в 2014 році.

№ п/п	Назва долота	Собівартість виготовлення на 1 од. (грн.)		Річний випуск доліт в 2014р. (шт.)	Економічна ефективність (грн.)
		Базовий варіант	Проектний варіант		
1	130,2М-ПНД118	2 485,0	2 356,0	80	10 320,0
2	215,9 FS3 UT275	22 840,0	20 680,0	320	691 200,0
3	224,5 ОК-ПГВ	17 680,0	16 125,0	350	544 250,0
4	244,5 ОК-ПГВ	19 049,0	17 883,0	400	466 400,0
5	250,8 ТКЗ-ПГВ	11 130,0	10 385,0	220	163 900,0
6	295,3 FS4 UT301	18 643,0	17 592,0	140	147 140,0
7	393,7 С-ЦВ	18 707,0	17 300,0	280	393 960,0
8	444,5 МСЗ	22 380,0	20 645,0	60	104 100,0
9	РТБ 490С	24 632,0	22 885,0	250	436 750,0
	Разом				2 958 020,0

001702

Директор фінансовий

М.О. Кукеза

Начальник планово-економічного відділу

Т.Д. Шумада

Додаток Х



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Карпаш О. М.

12 11 2015 р.

АКТ

впровадження в навчальний процес
результатів дисертаційної роботи Якіма Ігоря Степановича
„Підвищення якості виготовлення тришарошкових бурових доліт”

В результаті виконання аспірантом кафедри технології нафтогазового машинобудування Якимом Ігорем Степановичем одержані нові наукові та прикладні результати, які активно використовуються у навчальному процесі під час вивчення дисципліни „Технологія машинобудування”, „Обладнання паливно-енергетичного комплексу і технологія його виготовлення” та ін., а також для виконання курсових та інших кваліфікаційних студентських робіт.

/Директор інституту
інженерної механіки ІФНТУНГ

Романишин Л. І.

В.о. завідувача кафедри технології
нафтогазового машинобудування

Одосій З. М.