

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ З ГЕРМЕТИЗОВАНИМИ ОПОРАМИ КОВЗАННЯ, ВДОСКОНАЛЕННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ СТВОРЕННЯ

<sup>1</sup>Р.С. Яким, <sup>2</sup>Ю.Д. Петрина, <sup>2</sup>І.С. Яким

<sup>1</sup> Дрогобицький державний педагогічний університет ім. Івана Франка, 82100, м. Дрогобич, вул. І.Франка, 24, тел. 0679070484, e-mail: Jakym.r@online.ua

<sup>2</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024, e-mail: public@nimg.edu.ua

Дослідження має на меті вирішення проблеми підвищення якісних показників тришарошкових бурових доліт з герметизованими опорами на підшипниках ковзання на довиробничому та виробничому етапах їхнього життєвого циклу. Дослідження проводились в умовах реального виробництва бурових доліт, за умов математичного планування експериментів, комплексним застосуванням експериментальних лабораторних, стендових і натурних експлуатаційних випробовувань. Теоретично і експериментально обґрунтовано розроблені 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 методикою 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.

Ключові слова: інформаційна система, технологічний процес, довиробничий і виробничий етапи

Целью исследования есть решение проблемы повышения качественных показателей трехшарошечных буровых долот с герметизированными опорами на подшипниках скольжения на допроизводственном и производственном этапах их жизненного цикла. Исследования осуществляли в условиях реального производства буровых долот, при математическом планировании экспериментов, комплексным использованием экспериментальных лабораторных, стендовых и натурных эксплуатационных испытаний. Теоретически и экспериментально обоснованы разработанные структуры единой информационной системы поддержки процессов проектирования, подготовки производства и изготовления трехшарошечных буровых долот, а также системы комплексного повышения качества долот на допроизводственном и производственном этапах их жизненного цикла. Усовершенствованно инженерную методику построения оптимального технологического маршрута, что отличается критериями оптимальности варианта технологического процесса с позиций множества конструкторских, технологических, функционально-эксплуатационных, экономических показателей качества технологических операций. Такими критериями есть минимальный путь в дереве графа технологических маршрутов и условие максимального обеспечения показателей качества при условии минимального пути в этом же дереве графа.

Ключевые слова: информационная система, технологический процесс, допроизводственный и производственный этапы

The issue of the research is the increasing of quality factors of three-cone rock drilling bits with hermetically sealed sliding bearings at pre-industrial and industrial stages of their life cycle. The research was carried out during the process of drilling bits production with the mathematical planning of experiments and complex usage of experimental laboratories, bench and full scale operation tests. The structures of unique information system for design processes support, preparation for three-cone rock drilling bits producing and manufacturing and also the system of complex drilling bits quality increasing at pre-industrial and industrial stages of their life cycle are theoretically and practically proved. The engineering technology for the optimal technological route development, that differs in criteria of technological process type optimality from a position of various design, technological, functionally operational and economic indicators of production operations quality is improved. The minimum way in a graph treble of technological routs and maximum control of qualitative indices under the condition of minimum way in the same graph treble are among such criteria.

Keywords: information system, technological process, pre-industrial and industrial stages

Сьогодні в бурінні на нафту і газ застосовують широку гаму конструкцій та типорозмірів тришарошкових бурових доліт. Поміж них чільне місце посідають долота з герметизованою опорою на радіальних підшипниках ковзання. Першість у створенні передових конструкцій таких доліт ведуть такі фірми як „Halliburton International, Inc”, „Baker-Hughes Interna-

tional, 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 дає змогу у короткі часові терміни задовольняти швидкозмінні потреби і запити споживачів бурових доліт.

Зауважимо, що 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. Показовим у цьому є світовий досвід впровадження революційних технологій і вдосконалення конструкцій тришарошкових бурових доліт, який показав стає підвищення продуктивності бурових робіт [1, 2]. Зокрема, впровадження тришарошкових бурових доліт виробництва фірми Hughes, у яких герметизовано опору ковзання спеціальною кільцевою манжетною, дало можливість підвищити зносостійкість доліт на 40%. Сьогодні, вдосконалення герметизації долота отримали новий рівень. Так в конструкції [3] виконується подвійна герметизація, що включає спеціальне еластичне кільце і спеціальне кільце – пластину на основі металічного армуючого пружного елемента на якому є еластичне ущільнення. Такі конструкторські рішення дозволяють підвищити ступінь захисту герметизації опори в умовах перепадів тисків і температур на вибої та забезпечити ефективне мащення опори [4, 5]. Окрім цього, останні дослідження умов зношення і виходу з ладу сучасних тришарошкових доліт свідчать про те, що підвищення довговічності й ефективності таких доліт необхідно здійснювати шляхом комплексного вирішення низки питань із застосування спеціальних зносостійких і термостійких матеріалів та вдосконалення конструкції елементів опори й породоруйнівного оснащення [6 – 10]. Одночасно, виявлена проблема вимагає вирішення не тільки низки конструкторсько-технологічних проблем, як це відображено в [11 – 15], а й вдосконалення існуючої технології виготовлення бурових доліт [16, 17]. Загалом, сьогодні актуальним є розробка комплексного підходу до підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт з герметизованими опорами на підшипниках ковзання, що повинен здійснюватися на усіх етапах життєвого циклу таких доліт. Як свідчить практика, застосування єдиного процесного підходу дає ефект в зростанні ефективності й швидкості розв'язування комплексу проектних та конструкторсько-технологічних задач із створення і мобільного освоєння нових конкурентоспроможних конструкцій та типорозмірів доліт [18]. Тим не менше, сьогодні необхідно детально вивчити і конструкторсько-технологічно пропрацювати шляхи та способи забезпечення якості бурових доліт на кожному основному етапі 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 довірочний та виробничий. Тому проблема системного забезпечення якості на цих етапах має першочер-

гове значення і є метою даного дослідження. Для досягнення мети поставлено задачу пошуку резервів у вдосконаленні технології створення тришарошкових бурових доліт з герметизованими опорами на підшипниках ковзання на довірочному та виробничому етапах їхнього життєвого циклу.

Вирішення поставленої задачі здійснювали на базі долотного підприємства ТОВ „УніБур-Тех”. Розроблено новий системний підхід до забезпечення якості та економії матеріалів на основних етапах життєвого циклу тришарошкових бурових доліт [17, 19]. 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 максимальне мобільне проектування, підготовлення, своєчасне виконання усіх процесів виробництва, а й системний комплексний якісний контроль усіх процесів, у тому числі за:

- високоефективним виконанням усіх процесів пов'язаних зі створенням доліт на довірочних 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 випробувань (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 [20]. Високі вимоги висуваються і до системи контролю та випробувань, як окремих вузлів, так і готових доліт, сертифікації надійності, а також системи організації виробництва, системи керування якістю від проектування до виго-

товлення і постачання споживачам. Зауважимо, що такий підхід дає можливість ТОВ „УніБур-Тех” 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.

Дослідження проводились за умов математичного планування експериментів, комплексним застосуванням експериментальних лабораторних, стендових і натурних експлуатаційних випробовувань та статистичними методами обробки й аналізу отриманих результатів досліджень. Лінійні розміри з деталей опор знімали стандартним заводським вимірним інструментом із спеціальним пристосуванням, що забезпечує якісну оцінку відповідності знятих параметрів конструкторській документації.

Відповідно до комплексного підходу у підвищенні довговічності тришарошкових бурових доліт на усіх етапах їх створення [17], нами розроблено структури єдиної інформаційної системи підтримки процесів проектування, підготовки виробництва і виготовлення доліт (рис. 1), а також системи комплексного підвищення якості доліт на довиробничому та виробничому етапах життєвого циклу тришарошкових бурових доліт (рис. 2). Це дало можливість 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 під час проектування операцій, зокрема операційних розрахунків і призначення допусків. Для типових конструкцій деталей доліт та їх типорозмірів уніфіковано схеми базування, а також контрольні операції, контрольно-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 параметрами 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. Всю конструкторсько-технологічну документацію укладено відповідно до технологічних маршрутів виготовлення долота. Електронна база типових операцій, а також система інструкцій та керівних документів дають змогу чітко визначити кваліфікаційний рівень забезпечення їх якісного виконання згідно єдиного заводського реєстру кадрів. Проектування процесів дає змогу 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 „вузлькими місцями” у русі напівфабрикатів, підвищується ритмічність та інші якісні показники процесів виробництва бурових доліт.

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.

Ключовими елементами системи є запровадження випробовувань вузлів і готового долота в стендових умовах, що максимально відтворюють реальні умови буріння. З цією метою вдосконалено конструкцію стенду для випробовування секцій бурових доліт [21]. Практика регулярних випробовувань дає змогу 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.

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

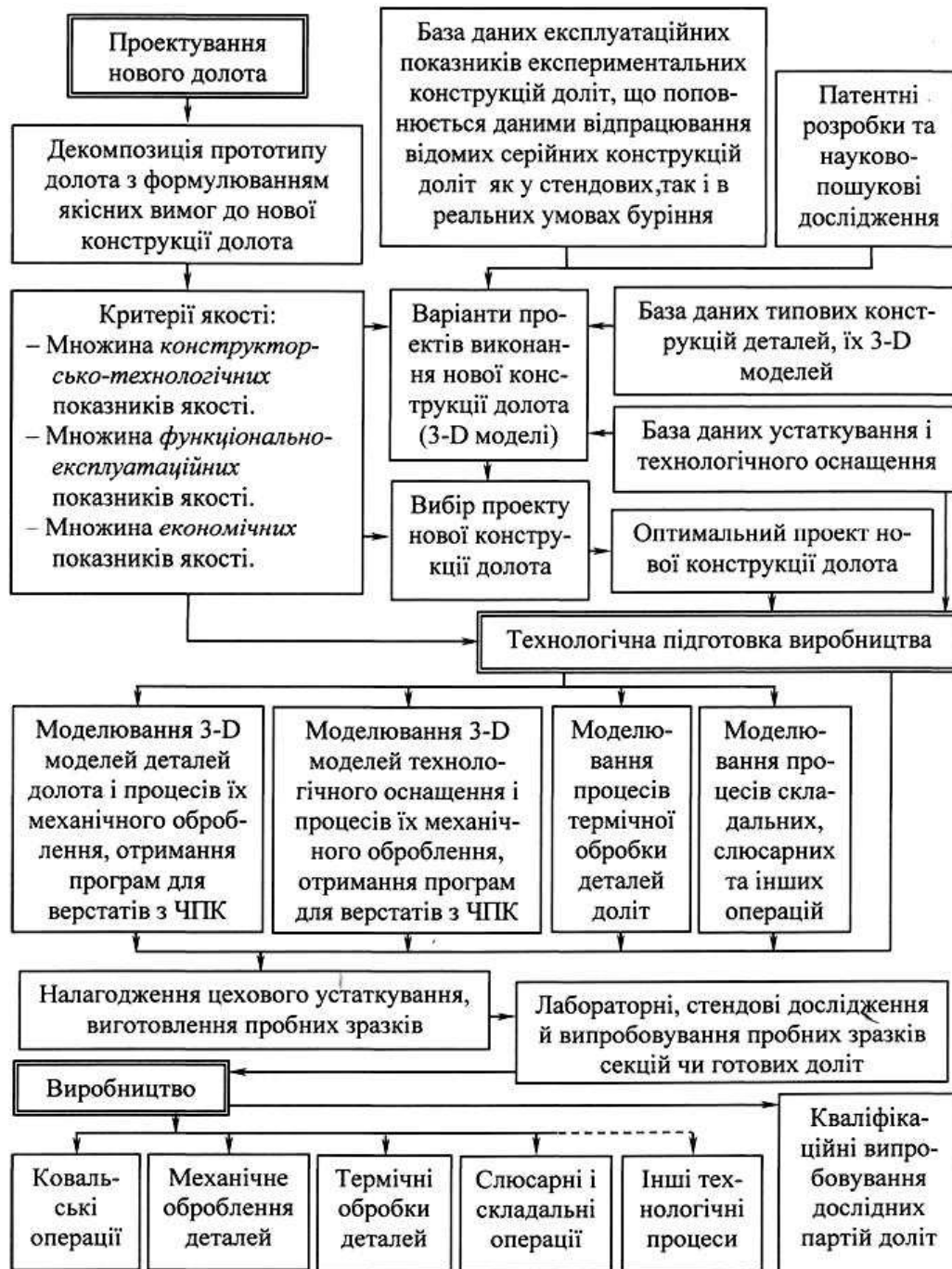


Рисунок 1 – Структура єдиної інформаційної системи підтримки процесів проектування, підготовки виробництва і виготовлення тришарашкових бурових доліт

виготовлення долота та вирішення комплексу конструкторсько-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 високоефективний інструмент.

Зауважимо, що формування заданого рівня якості тришарашкових 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 [22]. З іншої сторони, зупинка на загальних вимогах до технологічних процесів унеможливує об'єктивний вибір критеріїв оцінки рівня формування рівня якості на етапах виготовлення доліт. Наприклад, невраховування рівня концентрації виробництва може призвести 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 не-



Рисунок 2 – Структура реалізації комплексного підходу у підвищенні якості тришарошкових бурових доліт на довиробничому і виробничому етапах їх життєвого циклу

розривно від технологічних маршрутів. З цією метою вдосконалено інженерну методику побудови оптимального технологічного маршруту, описану в [23].

Виходячи з того, що будь-який виріб – об'єкт моделювання можна подати у вигляді контурів  $S_i$  з множиною властивостей  $\Theta(S_i)$ . Тоді контури  $S_i$  включають множину конструкторських, геометричних показників –  $\Theta_1(S_i)$  та множину що характеризує фізико-механічні, експлуатаційні показники  $\Theta_2(S_i)$ . При цьому виконується умова:

$$\Theta_1(S_i) \subset \Theta(S_i); \quad \Theta_2(S_i) \subset \Theta(S_i). \quad (1)$$

Тришарошкове бурове долото є складним виробом, який складається з системи спряжених деталей  $d_1, d_2, \dots, d_n$ , – складальних одиниць. Відповідно, для кожної такої деталі  $d_i$  також існує дві множини якісних показників, для яких виконується умова:

$$\theta_1(d_i) \subset \theta(d_i); \quad \theta_2(d_i) \subset \theta(d_i). \quad (2)$$

Для кожної деталі призначається рівень якісних показників. Це дає можливість створити єдину електронну базу даних для проектування і виготовлення типових конструкцій бурових доліт. У цю базу вводяться дані про характеристики і показники не тільки комплекс-

туючих, які виготовляються даним виробництвом, а й покупні. Систематичність і логічність забезпечується ієрархією, що відповідає структурі технологічного маршруту виготовлення долота.

Модель лапи чи шарошки можна подати у вигляді множини поверхонь, які змінюються у ході технологічних операцій:

$$\theta_{01}(d_i) = \theta_1^{01} \cup \theta_2^{01} \cup \theta_3^{01} \cup \dots \cup \theta_m^{01} = \bigcup_{i=1}^m \theta_i^{01},$$

..... (3)

$$\theta_{0n}(d_i) = \theta_1^{0n} \cup \theta_2^{0n} \cup \theta_3^{0n} \cup \dots \cup \theta_m^{0n} = \bigcup_{i=1}^m \theta_i^{0n},$$

де індекс  $n$  – порядковий номер технологічної операції.

Кожній операції  $\theta_i^{0n}$  відповідає множина якісних показників  $\theta_i^{0n}$ . Вона включає множини конструкторських (допустимі значення шорсткості, відхилення розмірів тощо), технологічних (сталість й точність отримання заданих конструкторських параметрів, значення фізико-механічних показників матеріалів 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:

$$\theta_{01}(d_i) = \bigcup_{j=1}^m \left( \bigcap_{t=1}^p \theta_{it}^{01} \right)_j,$$

..... (4)

$$\theta_{0n}(d_i) = \bigcup_{j=1}^m \left( \bigcap_{t=1}^p \theta_{it}^{0n} \right)_j.$$

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 переходу, 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 [23]:

$$l_i = (l_1, l_2, l_3, \dots, l_{k-1}, l_k, \dots, l_n). \quad (5)$$

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  $l_k$ . Кожен контур графу, побудований відповідно до параметричної умови  $\theta_j(l_k) = 1$ .

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

$$H_{\min} = \{i : l_i = 1\}. \quad (6)$$

За умови  $\theta(l) = 1$  і  $\theta(l) = 0$  для довільного  $t \leq l$ , але не тотожно рівного  $t$  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

$$\alpha_j(l) = \prod_{i \in H_{\min j}} \tau_i, \quad (7)$$

яка приймає значення логічної одиниці якщо оператори в мініальному шляху задовольняють умови якості. Такі умови якості встановлюються з міркувань описаних в [17, 23, 24]. 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.

Особливістю операцій виготовлення поковок є те, що тут формується технологічний спадок, який зберігається через усі операції технологічного процесу. Зокрема, якість заповнення всіх елементів штампу при куванні, а також орієнтація волокон у сталі, що створюються при виготовленні заготовки та текстура (яскраво виражений напрям деформації зерен структури металу) визначають міцність, контактну витривалість та інші експлуатаційні показники робочих поверхонь.

Механічне оброблення деталей традиційно виконувалося на спеціальних технологічних лініях оснащених спеціально налагодженими токарними, фрезерувальними, шліфувальними і свердильними верстатами.

Сьогодні, як це описано в [17] таке оброблення здійснюється за допомогою оброблювальних центрів і верстатів обладнаних ЧПК. Зокрема, формоутворення сталевого породоруйнівного оснащення шарошок чи зовнішньої поверхні шарошок з отворами під посадку твердосплавного породоруйнівного оснащення, або ж комбінованого поєднання фрезерованих зубів і отворів під твердосплавні вставки, ефективно здійснюється на п'ятикоординатних оброблювальних центрах моделі MCV фірми Kovosvit (Чехія). Такі верстати не тільки забезпечують різке зменшення часу на формоутворення зовнішньої частини корпусу шарошки (у 2,1–3,9 разів), а й дають змогу виконувати породоруйнівне оснащення шарошок довільної складності.

Високоточне оброблення цапф лап ведеться на токарних верстатах з ЧПК моделі TV фірми „DANOBAT” (Іспанія). Застосування різального інструменту – спеціальних різців зі змінними пластинами на основі кубічного нітриду бору дає стале значення шорсткості оброблених поверхонь  $R_a 0,8$  мм (по контакту  $R_a 0,63$  мм) [25]. Малі типорозміри та прості конструкції цапф лап оброблюють на токарних верстатах з ЧПК моделі 2SDS „HEID”.

Механічне оброблення порожнини шарошок здійснюється на вертикальних одношпиндельних токарних центрах VSC виробництва фірми „EMAG”, що обладнані системою ЧПК SIMENS 840D. Точність оброблення даного верстату забезпечується автоматизованим фіксуванням і позиціонуванням заготовки шарошки в патроні, що становить 0,05 мм. Контроль геометричних параметрів оброблених поверхонь здійснюється спеціалізованим вимірним щупом „Magros”. Для оброблення тут також застосовуються спеціальні різці зі змінними пластинами з твердого матеріалу на основі кубічного нітриду бору. Такі різці добре обробляють загартовані долотні сталі твердістю до HRC65 та дозволяють застосовувати режим високошвидкісного оброблення (HSM – High Speed Machining), який на сьогодні є прогресивною технологією лезового оброблення матеріалів.

Перелічені металорізальні верстати забезпечують високу продуктивність та гнучкість виробництва, автоматизацію, технологічних процесів тощо.

Хіміко-термічну обробку (цементация) здійснюють згідно підвищених вимог до якості контролю параметрів цементації, температур гартування і відпусків відповідно до рекомендацій [15] на агрегатах фірми IPSEN. Ці агрегати мають багатоцільові двокамерні печі TQ-2, в яких процеси автоматизовано керування за допомогою комп'ютера системи „Carbo-o-Prof”.

Плазмове наплавлення зносостійких поверхонь цапф лап здійснюється на устаткуванні ПМ-300Д, що оснащено керуючою системою на

основі мікроконтролера. Розроблені режими процесу і точність устаткування повністю забезпечують бездефектність наплавлених зносостійких шарів.

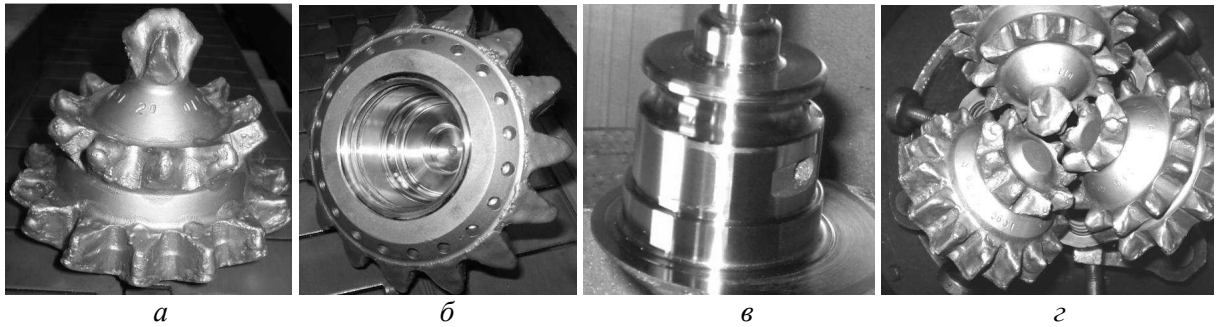
Якість і надійність шарошкових бурових доліт визначається не тільки якісними показниками окремих деталей, отриманими при їх виготовленні, але й якістю складальних операцій. У технологічному процесі виготовлення долота складальні операції є особливо вагомими внаслідок складних зв'язків із попередніми операціями. При складанні формуються основні якісні показники готового виробу. Для шарошкових доліт це: надійність з'єднання „зубок – шарошка”, радіальне биття зубів шарошок, люфти в опорі, різновисотність шарошок, співвісність осей різьби ніпеля і осі долота тощо.

Вдосконалення складальних операцій при виготовленні шарошкових доліт традиційно сформувалися такі напрямки: оптимізація конструкції ділянок припасування і з'єднання (формоутворення 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.

Технологічний процес складання долота повинен забезпечити отримання основних параметрів у межах заданих норм точності. Вирішення цієї задачі залежить від того, наскільки правильно вибрано 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.

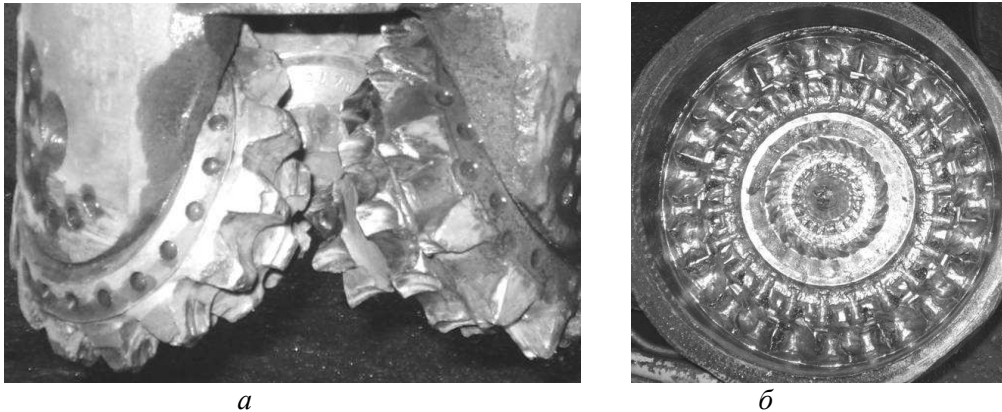
Підвищення точності формоутворення ніпельної частини долота може бути вирішено шляхом вибору оптимальної конструкції упорних елементів для надійної установки і самоцентрування долота. При цьому до параметрів баз установки долота повинні бути висунуті строги вимоги щодо забезпечення точності.

Аналізом відхилень осі ніпеля при базуванні по поверхнях калібруючих шарошок встановлено, що на точність суттєво впливає радіальне биття і зазори між опорними поверх-



*а* – фрезероване породоруйнівне оснащення шарошок після наплавлення зносостійким матеріалом,  
*б* – порожнина шарошки, отримана кінцевим точінням у розмір,  
*в* – цапфа лапи після кінцевого точіння у розмір і полірування,  
*г* – припасування і фіксування секцій доліт з метою попередження виникнення різновисотності

**Рисунок 3 – Загальний вигляд деталей долота 215,9 FS3 UT275 та момент операції складання**



*а* – загальний вигляд породоруйнівного оснащення шарошок долота,  
*б* – загальний вигляд сталевого вибою, по якому працювало долото

**Рисунок 4 – Загальний вигляд породоруйнівного оснащення долота 215,9 FS3 UT275, і металевого вибою після відпрацювання в стендових умовах**

нями пристрою і породоруйнівного оснащення. При цьому кожна конструкція шарошки і її породоруйнівне оснащення вимагає спеціального налагодження пристрою для установки долота. Приклади конструкцій таких пристроїв описано нами в [17].

Ілюстрацією до вище викладеного є практика розробки і освоєння долотним виробництвом вітчизняних конструкцій доліт продуктової лінії FS. Прикладом є долота 215,9 FS3 UT275 з опорами, у яких для герметизації застосовано два ущільнюючі кільця, а підшипники ковзання виконуються на основі ковпачка, шайби і плаваючої втулки з антифрикційного матеріалу.

Згідно розробленої технології виготовлено експериментальне долото. На рис. 3, *а* – *в* подано загальний вигляд деталей після деяких з основних технологічних операцій, а на рис. 3, *г*, відображено момент припасування і фіксування секцій долота для зварювання.

Оцінювання експлуатаційних показників здійснювали випробуванням долота у стендових умовах при бурінні металевого вибою зі сталі 20 на станції випробування доліт. Частота обертання долота дорівнювала 60-70 об/хв. Промивною рідиною була технічна вода, що подавалася безпосередньо в зону буріння. Долото спочатку припрацьовували протягом 1 год

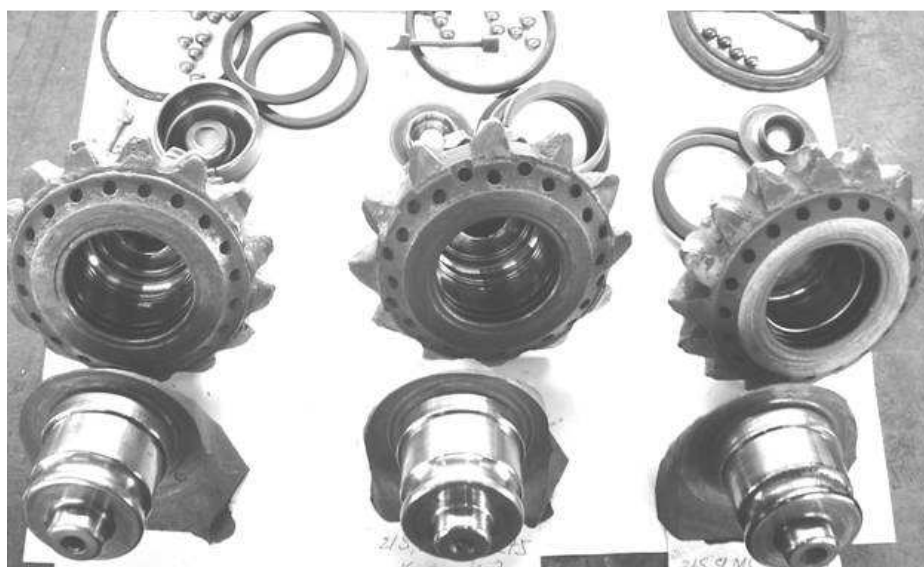
при навантаженні 8,0т, потім поступово (ступенями) збільшували до 12т. Критерієм зупинки буріння було зростання крутного моменту на долоті і підвищення температури однієї з секцій (комплект №3 – шарошка і лапа).

Долото відпрацювало 47 год. 20 хв (рис. 4), у результаті глибина буріння у сталевих вибоях дорівнювала 315 мм (відбурено вісім вибоїв). Після цього долото піддали аналізу. Виявлено, що шарошки №1 і №2 туго прокручуються від руки, люфт в опорах комплектів відсутній, їх герметичність у справності. Натомість шарошка комплекту №3 легко прокручується від руки, люфт сягає до 2 мм, система герметизації пошкоджена. У всіх шарошках породоруйнівне оснащення зношене до граничного стану. Зауважено більше зношення основних рядів зубів породоруйнівного оснащення проти периферійних.

У результаті розбирання опор встановлено (рис. 5, *а*), що елементи опор комплектів № 1 і № 2 цілком працездатні. Тут не виявлено значних пошкоджень ні на бігових доріжках і тілах кочення, ні на деталях підшипників ковзання.

В опорі комплекту № 3 зафіксовано сколювання бурта між кульковою біговою доріжкою і напавленою поверхнею ковзання периферійного підшипника та утворення тріщин й





а



б



в



г

а – комплекти №1, №2, №3 (з ліва на право) секцій дослідного долота,  
 б – цапфа лапи у навантаженій ділянці (комплект №3),  
 в – характер зносу антифрикційної втулки в порожнині шарошки (комплект №3),  
 г – темплет для встановлення якості наплавлення і зміцнення ділянки великого підшипника ковзання і бігової доріжки замкового кулькового підшипника кочення цапфи лапи

**Рисунок 5 – Загальний вигляд аналізованих деталей дослідного долота, що відпрацювало на станції випробування доліт**

дрібних сколювань наплавленого шару цапфи (рис. 5, б, в). Зауважені пошкодження на кульковій біговій доріжці, а також подряпини і ривчачки на поверхні плаваючої антифрикційної втулки спричинені потраплянням у зону тертя ковзання та у замковий підшипник фрагментів зруйнованого бурта.

Аналіз якості наплавлення бігової доріжки зносостійким матеріалом (рис. 5, г) не виявив дефектів та порушення технології процесу наплавлення. Також структура зносостійкого матеріалу і якість зчеплення зі сталлю цапфи задовольняють усі вимоги нормативної документації. Аналізом виявлено недостатню величину зазору в ділянці герметизації, що спричинює нерегламентоване тертя шарошки по поверхні цапфи. Загалом, експериментальне долото, не зважаючи на окремі недоліки, є працездатним і перспективним. Тому, після внесення відповідних коректив у конструкторсько-технологічну документацію, виготовлено пробну партію доліт, які відпрацювали в умовах реального буріння. Експлуатаційні буріння дослідної партії

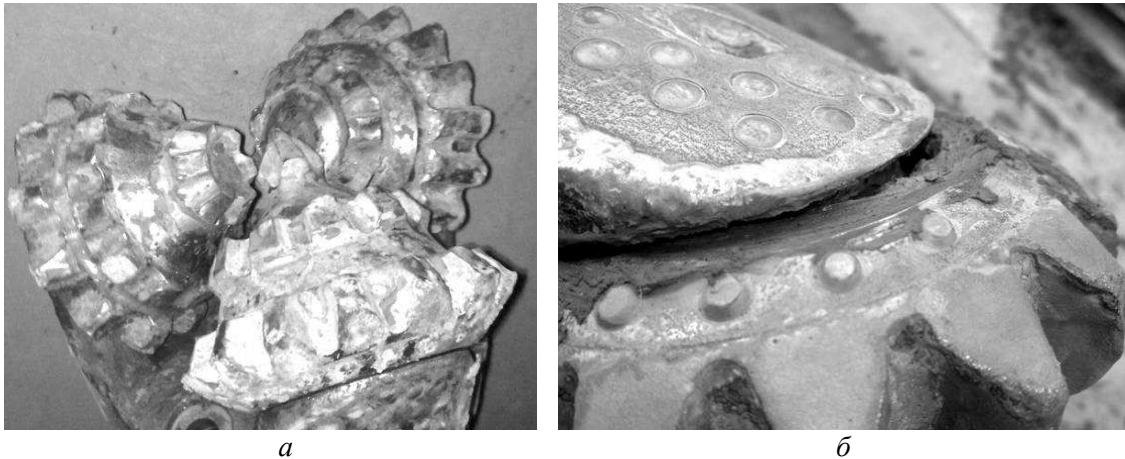
доліт здійснено в умовах Стрийського ВБР на буровій №71 площа Летнянська і буровій №3 площа Добрянська.

Випробування дослідних партій доліт 215,9 FS3 UT275 здійснили в умовах Стрийського ВБР на буровій №71 площа Летнянська і буровій №3 площа Добрянська відповідно (табл. 1). Долота відпрацьовували при частоті обертів 60 об/хв.

При співмірній механічній швидкості дослідні долота свідчать про 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 виявили вищу зносостійкість калібруючого та захисного оснащення від зносу (загальний знос по діаметру доліт складав 1,8мм). Також не зафіксовано

Таблиця 1 – Порівняння експлуатаційних показників дослідних доліт 215,9 FS3 UT275 з найкращими показниками зарубіжного аналогу

№ долота	Інтервал буріння, м	Осьове навантаження на долото, т	Тиск промивної рідини, атм	Проходження, 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



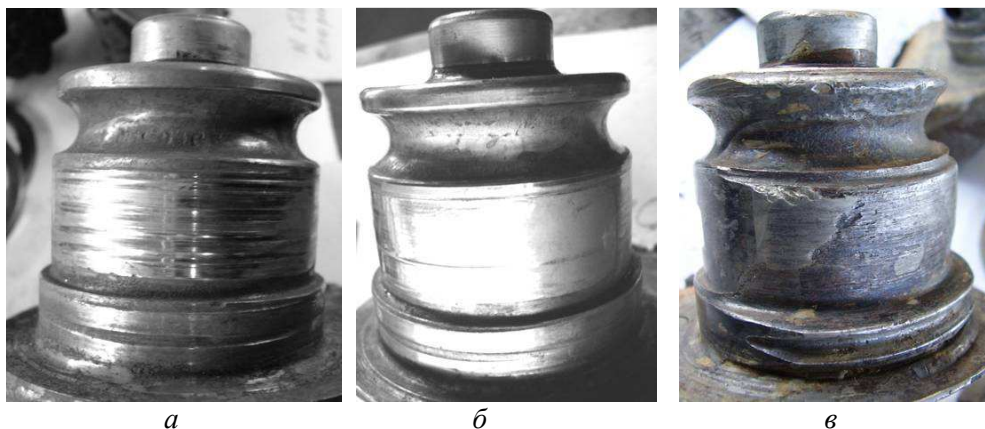
*а* – зношене породоруйнівне оснащення долота №1,  
*б* – люфт між шарошкою і козирком спинки лапи долота №2

Рисунок 6 – Загальний вигляд відпрацьованих елементів дослідних доліт

зносу корпусу долота, спинки 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. 6, *а*). У обох долотах виявлено три випадки відколонування наплавленого шару із сталевих зубків. Між шарошкою і козирком спинки лапи долота №2 зафіксовано люфт 7-8мм (рис. 6, *б*).

Здійснено також аналіз пошкоджень опор відпрацьованих дослідних доліт (рис. 7). Отже, у долоті №1 найбільш пошкодженою виявилася опора першої секції (рис. 7, *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 завальцьованим у шарошку і не обертається. Упорна торцева шайба у працездатному стані. Обидва ущільнюючі кільця опори зношені по внутрішньому (контактуючому) ді-

аметру. Як і у решти секцій, на робочих поверхнях замкового підшипника кочення видимих слідів зносу не виявлено, також герметична маслокишеня. Значно більші пошкодження елементів опори встановлено на долоті №2. Тут найбільшого руйнування зазнали опори другої і третьої секції (рис. 7, *б-в*), де виявлено буровий розчин у маслокишені і глибокому отворі. У цих опорах також зруйновано ущільнюючі кільця опори по внутрішньому контактуючому діаметру і залишились в пазах шарошки. Типовим для зношення цапф є утворення ривчаків від зносу по спряженні „ущільнення – цапфа” (рис. 7). Їхні розміри можуть мати довжину 40-50 мм і глибину до 5-6 мм. На цапфі третьої секції зафіксовано катастрофічне руйнування із навантаженої сторони (рис. 7, *в*): профіль кулькової бігової доріжки розбито і зміщено 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 можна побачити при розбиранні опори. Зауважимо, що працездатний ковпачок малого підшипника ковзання, який хоч і знаходився в шарошці, 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 еле-



*а – цапфа лапи першої секції долота №1,  
б – цапфа лапи другої секції долота №2,  
в – цапфа лапи третьої секції долота №2*

**Рисунок 7 – Загальний вигляд елементів опор відпрацьованих дослідних доліт**

ментів підшипників ковзання: ковпачка, втулки, шайби. Очевидно вони повністю зруйнувалися і подрібнилися на дуже дрібні фрагменти, які перемішалися з мастилом і значною мірою випали з розгерметизованої опори.

У результаті здійснених досліджень встановлено, що дослідні конструкції доліт 215,9 FS3 UT275, розроблені і виготовлені ТОВ „УніБурТех” є працездатними. Причинами зниження експлуатаційних показників цих доліт є недостатня зносостійкість наплавленого породоруйнівного оснащення та недостатня стійкість опори до утворення люфтів. З цією метою необхідно підвищити якість процесу наплавлення сталевих зубів, а також застосувати для наплавлення прогресивні зносостійкі матеріали. Необхідно підвищити точність спряжених поверхонь по замковому підшипнику кочення для недопущення передчасного виникнення люфтів і „качання” шарошки, що прискорює розгерметизацію опори.

#### **Висновки**

Теоретично і експериментально обґрунтовано розроблені 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. 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. Експериментальними стендовими та експлуатаційними дослідженнями обґрунтовано ефективність нових шляхів у вдосконаленні технології виготовлення тришарошкових бурових

доліт на основі інформаційних інтегрованих систем та CALS-технологій і процесності. Це підвищує якість і мобільність, як освоєння виробництвом нових технологічних процесів, так і нових конструкцій тришарошкових бурових доліт. Створено нові підходи у вдосконаленні технології виготовлення тришарошкових бурових доліт, апробовано в умовах реального виробництва і прийнято до подальшого вдосконалення якості й підвищення конкурентоздатності доліт.

Надалі перспективним є розробка металознавчих і технологічних основ для забезпечення якісних конструкторських показників шарошок і лап тришарошкових бурових доліт.

#### *Література*

- 1 Technological Breakthroughs Advanced Upstream E&P's Evolution / [Ron Lord] // Journal of Petroleum Technology. – 2007. – October. – P. 11-116.
- 2 Premium Tricone Drill Bits VANGUARD / Hughes Christensen. – The Woodlands, Texas: Baker Hughes Incorporated. All Rights Reserved, 2009. – 12 p.
- 3 Patent 5,513,715. United States. Int. Cl. E21B 10/22 U.S. Cl. 175/374; 277/92; 277/235 R. Flat seal for Cone rock Bits / Theodore R. Dysart (US), Assignee: Dresser Industries, Inc. – № 299,821. Prior Publication Aug. 31, 1994; date of Patent May 7, 1996.
- 4 New advancements made in drill bit technology / [Ron Lord] // World Oil. – 2005. – Vol. 226. – № 11 (November). – P. 67-71.
- 5 New rubber parts improve roller-cone bit performance at high temperatures. / D. Shakhovskoy, A. Dick, G. Carter, M. Jacobs // World Oil. – January 2011 issue, – P. 51-54.
- 6 Буровой породоразрушающий инструмент: Международная инженерная энциклопедия. (Международный транслятор-справочник) – Т.1: Шарошечные долота / [Под науч. ред. В.Я. Кершенбаума, А.В. Торгашова, А.Г. Месера] – М.: Нефть и газ, 2003. – 257 с. (Серия „Нефтегазовая техника и технология” т. 1).

7 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.

8 Палащенко Ю.А. Одна из причин снижения показателей работы буровых долот / Ю. А. Палащенко // Нефтегазовая вертикаль. – 2006. – № 2. – С. 80-81.

9 Палащенко Ю. Катастрофическое снижение эффективности бурения из-за эксцентрического вращения долота на забое скважины / Ю. Палащенко // Бурение и нефть. – 2006. – №9. – С. 28-30.

10 Aravind Suresh Kumar. A Baseline for Mechanical Specific Energy and Estimation of Bit Wear Rate: Thesis for the Degree of Master of Science in Engineering / Aravind Suresh Kumar. – Texas at Austin. – 2008 (December) – 33 p.

11 Неупокоев В.Г. Вопросы теории и практики проектирования, производства и эксплуатации буровых шарошечных долот / В. Г. Неупокоев – Самара: Издательство Самарского научного центра Российской академии наук, 2000. – 376 с.

12 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.

13 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.

14 Блинков О.Г. Пути повышения эффективности работы буровых шарошечных долот: дис. ... доктора техн. наук: 25.00.15. / Блинков Олег Геннадиевич. – М., 2007. – 356 с.

15 Яким Р.С. Теорія і практика забезпечення якості та експлуатаційних показників цементованих деталей шарошечних бурових доліт: монографія / Р. С. Яким, Ю.Д.Петрина. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. – 189 с.

16 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.

17 Яким Р. С. Науково-практичні основи технології виготовлення тришарошечних бурових доліт та підвищення їх якості і ефективності: монографія / Р.С.Яким, Ю.Д.Петрина, І.С.Яким. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. – 384 с.

18 Яким Р. С. Науково-прикладні засади підвищення довговічності тришарошечних бурових доліт: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.12 / Яким Роман Степанович. – Івано-Франківськ, 2012. – 293 с.

19 Яким Р. С. Забезпечення якості тришарошечних 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.

20 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).

21 Пат. 96644 С2 Україна, МПК<sup>2</sup> E21В 10/10 (2011.01). Стенд для випробовувань секцій шарошечних доліт / Є.І.Крижанівський, Р.С.Яким, Л.Є.Шмандровський, Ю.Д.Петрина, (Україна); заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № 2010000752 заявл. 26.01.10. опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.

22 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 техники экономических исследований по химическому и нефтяному машиностроению (ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ), 1990. – 49 с.

23 Яким Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення якості тришарошечних 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.

24 Яким Р. С. Формування якості та експлуатаційних показників тришарошечних 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.

25 Яким Р. С. Технологічне забезпечення якості механічного оброблення цапф лап тришарошечних 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, 2012. – Вип. 129. – С. 278 – 283.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
24.04.13*

*Рекомендована до друку  
професором Крилем Я.А.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором Никифорчиним Г.М.  
(Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка  
НАН України, м. Львів)*