

УДК 622. 24.051

Ю. Петрина, докт. техн. наук; Р. Яким, канд. техн. наук; Т. Пасинович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЛАП ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ НА УСІХ ЕТАПАХ ЇХНЬОГО СТВОРЕННЯ

Резюме. Розроблено єдиний комплексний підхід до проектування, конструювання та виготовлення, що реалізує конструкторсько-технологічне забезпечення якості лапи тришарошкового долота. Підхід відрізняється тим, що на етапі комп'ютеризованого проектування і конструювання лапи паралельно виконують проектування операцій технологічних оброблень, що дозволяє реалізовувати повну автоматизацію процесів у одному комп'ютеризованому технологічному середовищі. Це дозволяє створювати надійну інформаційну базу для проектування апробації і упровадження ефективного технологічного процесу. Також запропоновано параметричний підхід до побудови ефективного технологічного процесу з позицій конструкторсько-технологічних, функціонально-експлуатаційних та економічних показників якості, який відрізняється встановленим критерієм для визнання ефективності операції з позицій якості, а також суттєво спрощеною методикою встановлення найкращого варіанта техпроцесу.

Ключові слова: проектування, конструкція, технологічний процес, якість, лапа бурового долота, посадка, шорсткість, циліндричність, овальність.

Yu. Petryna, R. Yakym, T. Pasynovych

DESIGN AND TECHNOLOGICAL GUARANTEE OF THE QUALITY INCREASE OF THREE-CONE ROCK BITS ARMS AT ALL STAGES OF THEIR MAKING

The summary. The only composite approach to the projection, design and making, which realizes design and technological quality guarantee of three-cone rock bits arm, is developed. The approach is special because the projection of technological treatments operations is performed parallel with the computing projection and design of the arm. Such approach allows to realize complete automation of processes in the same computing technological medium. At also allows to create the reliable information base for the approbation projection and effective processing introduction. The parametric approach to the effective processing construction from a position of design and technological, functional and operation, and economic quality indices is also suggested. This approach differs by the determined criterion for the determination of operation efficiency from a position of quality and also essentially simplified technique of the processing best version establishment.

Key words: projection, construction, processing, quality, rock bit arm, fit, roughness, cylinder, oval.

Сучасні вимоги до довговічності тришарошкових бурових доліт створюють передумови докорінного переосмислення існуючих підходів до забезпечення їхньої надійності та якості на стадіях проектування, виготовлення і експлуатації. Тому актуальним є розроблення конструкторсько-технологічних заходів, які направлені на розв'язання цієї важливої проблеми.

Аналіз відмов тришарошкових бурових доліт [1] виявив три основні чинники, які формують довговічність на стадіях їхнього створення: вихідні властивості матеріалу та конструктивні параметри, що задають на стадії проектування та конструювання, а також технологічні чинники, які формуються на стадіях проектування і реалізації технологічних процесів виготовлення. Тому наше завдання – розробити комплекс конструкторсько-технологічних заходів для забезпечення якості лапи тришарошкового долота на усіх етапах її створення.

Досвід створення тришарошкових бурових доліт показує [2], що проектування технологічного процесу на основі збереження сталих параметрів вихідного контуру деталей не дозволяє використати всі можливості сучасного рівня конструювання опор для досягнення якісних та експлуатаційних показників доліт. Тому найефективнішим вважаємо поєднання усіх стадій створення сучасних конструкцій доліт у єдину інформаційну систему.

Гіпотезою дослідження є твердження про те, що конструкторсько-технологічне забезпечення якості лапи тришарошкового долота можливе завдяки застосуванню єдиного комплексного підходу до проектування, конструювання та виготовлення. Він ґрунтується на концепції комп'ютеризації та автоматизації цих процесів. Підхід відрізняється тим, що на етапі комп'ютеризованого проектування і конструювання лапи паралельно виконують проектування операцій технологічних оброблень, що дозволяє реалізовувати повну автоматизацію процесів у одному комп'ютеризованому технологічному середовищі. Це створює надійну інформаційну базу для проектування ефективного технологічного процесу з позицій конструкторсько-технологічних, функціонально-експлуатаційних та економічних показників якості.

Завдяки функціонально-орієнтованій технології машинобудування [3] сьогодні стало можливим вийти на новий рівень проектування технології виготовлення високоякісної продукції. В основі цієї технології – забезпечення якості виробів відповідністю властивостей матеріалу, структури, конструкції, технології. Відповідно до цього розроблено методику аналізу виробу з позицій функціональності його елементів та принципи формування технологічних впливів, що забезпечують особливості експлуатації та властивості виробу.

Використовуючи функціонально-орієнтований підхід, а також керуючись принципом оцінювання ефективності тришарошкового бурового долота як виробу та вибору шляхів підвищення його довговічності, можна виконати три декомпозиції лапи – конструкторську, матеріалознавчу, технологічну. А це, в свою чергу, враховуючи дані роботи [4], передбачає системний підхід до постановки і вирішення конструкторсько-технологічних завдань:

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

Для формулювання завдань перед проектуванням важливим етапом є обґрунтоване висунення множини вимог до лапи та її елементів. Це можливо, якщо проаналізувати елементи конструкції лапи, з урахуванням досвіду виготовлення та експлуатації (рис. 1). Виділені вимоги формують основні завдання вибору відповідних матеріалів, пошуку та встановлення найбільш оптимальних конструкторських параметрів елементів лапи, а також ефективних технологічних операцій при виготовленні.

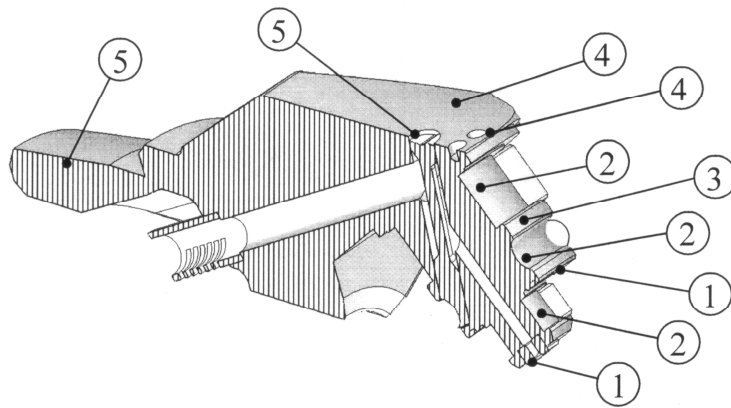


Рисунок 1 – Конструкція лапи тришарового бурового долота, в якій встановлено п'яту, твердосплавні вставки, замковий палець, фільтр та зображені тіла кочення, виділено елементи, до яких висувають функціонально-експлуатаційні та технологічні вимоги:

- 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 гідроабразивного, ударно-абразивного впливів; 5 – забезпечення доброї зварюваності

Для забезпечення якісних проектних і конструкторських робіт також важливі постановка і проведення спеціальних експериментальних випробовувань та апробації нової технології. Зокрема, проведені дослідження з підвищення довговічності [5] опор бурових доліт з наплавленим підшипником ковзання на торці лап порошковим стелітом Stellite 190 показали високу ефективність автоматизованого плазмового наплавлення на устаткуванні ПМ-300Д. Апробація і впровадження устаткування дало можливість практично виключити людський чинник, тим самим звівши до нуля кількість кінцевого браку при наплавленні упорного торця, зменшити норму розходу наплавлювального матеріалу в середньому на 20%, збільшити продуктивність праці при наплавленні лап удвічі. Устаткування дозволило обійтися без карбіду кальцію та кисню, які раніше використовували при ручному наплавленні. Дане устаткування працює автономно, тобто не потребує роботи допоміжних служб цеху. Упровадження устаткування дозволило оптимізувати маршрути виготовлення лап, через зменшення операцій механічного оброблення та уникнення зайвих міжцехових перевезень.

Оцінювання ефективності операцій кінцевого тонкого точіння цапфи та операції шліфування бігових доріжок з позиції конструкторсько-технологічних та функціонально-експлуатаційних показників якості дозволило обґрунтовано прийняти рішення на користь токарного оброблення. Експериментальні випробовування цапф лап, які пройшли шліфування і були обточені, засвідчили вищу стійкість до контактного руйнування обточених. Зокрема, комплекти, що працювали в стендових умовах по металевому вибої при навантаженні 60 – 70 кН і швидкістю обертання комплектів 100 об/хв. виявили, що на поверхнях бігових доріжок шліфованих цапф лап вже на 15-ій годині утворюються помітні контактні руйнування у вигляді піттингів, локального відшарування цементованого шару, тріщини. На 20-ій годині руйнування шліфованої цапфи стають значними і, перебуваючи у найбільш навантаженій ділянці роликової бігової доріжки, утворюють суцільну зону контактного руйнування цементованого шару (рис. 2). При цьому на цапфах, які пройшли токарне оброблення, подібні руйнування спостерігали на 30-ій годині відроблення. У обох випадках перед випробовуванням опори доліт заповнювали мастилом СКа/6 (УСсА), а потім комплекти відпрацьовували з охолодженням технічною водою.



Рисунок 2 – Загальний вигляд цапф лап тришаршкових бурових доліт 244,5 ОК-ПГВ-Д26.040 після 20 год відпрацювання на стенді:

а – цапфа пройшла кінцеве механічне оброблення точінням на верстаті „DANOBAT”;

б – цапфа пройшла кінцеве механічне оброблення шліфуванням великої роликової, кулькової і малої роликової бігових доріжок відповідно на верстатах ХШ1-05, ХШ1-38, ХШ1-05

Використання замість вставної п'яти наплавлення дозволило усунути проблему з її виготовлення чи придбання, а також позбутися трудомісткої операції складання. При наплавленні п'яти немає утворення тріщин на малій роликовій біговій доріжці в ділянці торця, у якій виконується п'ята. Встановлення п'яти в цапфу спричинювало часте просідання, перекошування п'яти в процесі експлуатації, що призводило до неоптимального перерозподілу навантажень в опорі [6]. У результаті опора швидко виходила з ладу. Це вимагало високої точності операцій виконання спряжених поверхонь під посадку, а також пресування. Інколи доводилось проводити повторну операцію допресовування п'яти, що спричинювало додаткові економічні витрати.

Для розв'язання проектних і конструкторсько-технологічних проблем, що виникають при виготовленні лапи тришаршкового бурового долота 244,5 ОК-ПГВ-Д26.040, побудували альтернативні варіанти технологічних процесів (табл. 1) і розробили методику вибору найефективнішого.

Оскільки розроблена інженерна методика побудови оптимального технологічного маршруту [7] не враховувала критерій згідно з яким визнається ефективність операцій з позицій якісних показників, то було розроблено новий підхід, що дозволив спроектувати та апробувати ефективний технологічний процес на основі модернізації та вдосконалення базового техпроцесу (прототипу), традиційного. Підхід відрізняється встановленим критерієм для визначення ефективності операції з позиції якості, а також суттєво спрощеною методикою встановлення найкращого варіанту техпроцесу.

Отже, модель процесів проектування оброблення лапи бурового шарошкового долота є описування процесів зміни станів даних про лапу A_i , а процес виготовлення – як процес зміни станів предметів праці, який завершується перетворенням їх у конструкцію лапи. Кожен етап такої зміни можна представити як перехід заготовки лапи A_i з попереднього $(A_i)_{k-1}$ у наступний $(A_i)_k$ стан під впливом конструкторсько-технологічного оператора t_k . Цей перехід описується як відношення між контурами лапи і конструкторсько-технологічного оператора [8]:

$$F(A_i)_k = k((A_i)_{k-1}, F(t_k)). \quad (1)$$

Таблиця 1 – Альтернативні варіанти технологічних маршрутів виготовлення лапи 244,5 ОК-ПГВ-Д26.040

Код опер.	Базовий техпроцес з мехобробленням у центрах	Проектний № 1 з мехобробленням безцентрове	Проектний № 2 з мехобробленням безцентров. з наплав. п'яти
1000	Виготов. заготовки –	Виготов. заготовки – поковки	Виготов. заготовки – поковки

МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА ПРОЦЕСИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

	поковки		
4650	Фрезерув. торця хвостовика	Фрезерув. торця хвостовика	Фрезерув. торця хвостовика
4250	Точ. спин. лапи по рад. попер.	Точ. спин. лапи по рад. попер.	Точ. спин. лапи по рад. попер.
4550	×	Сверд. отв. під технол. штифт	Сверд. отв. під технол. штифт
4350	Фрезер. площ. 2-гр. кута попер.	×	×
4800	Точ. спин. лапи по рад. кінцево	Точ. спин. лапи по рад. кінцево	Точ. спин. лапи по рад. кінцево
5200	Фрез. площин під центрування	×	×
4950	×	Клеймування	Клеймування
7209	×	Точ. цапфи кінц. канав. упор. тор. отвір під п'яту	Точ. цапфи кінц. канав. упор. тор. отвір під п'яту
5350	Свердли 2 центрові отвори	×	×
6650	Точіння цапфи попередньо	×	×
6750	Точіння цапфи кінцево	×	×
6950	Прор. кан. під прод., підр. бурт	×	×
7050	Точ. бігових доріжок поперед.	×	×
7150	Точ. бігових доріжок кінцево	×	×
13350	Точ. бурт і канавку під наплав.	×	×
13550	Фрез. паз на упорному торці	Фрез. паз на упорному торці	Фрез. паз на упорному торці
7800	Фрез. площадки під гідроканал	Фрез. площадки під гідроканал	Фрез. площадки під гідроканал
7900	Свердління гідроканалу	Свердління гідроканалу	Свердління гідроканалу
8100	Свердління отвору під цвях	Свердління отвору під цвях	Свердління отвору під цвях
9100	Фрезерувати дашок по радіусу	Фрезерувати дашок по радіусу	Фрезерувати дашок по радіусу
9450	Клеймування	×	×
3001	Наплавлення упорного торця	×	×
14150	Шліф. упор. торця попередньо	×	×
14260	Шліфування ВБД	×	×
14310	Шліфування МБД	×	×
5500	Свер. отв. під замковий палець	Свер. отв. під замковий палець	Свер. отв. під замковий палець
5757	Свердління глибокого отвору	Свердління глибокого отвору	Свердління глибокого отвору
5900	Розсвердлення глибокого отв.	×	×
6300	Свердління центрального отв.	Свердління центрального отв.	Свердління центрального отв.
6850	Свердління 2-ох косих отворів	Свердління 2-ох косих отворів	Свердління 2-ох косих отворів
8700	Фрезерування лунки	Фрезерування лунки	Фрезерування лунки
10050	Зачищ. спинки лапи під наплав.	Зачищ. спинки лапи під наплав.	Зачищ. спинки лапи під наплав.
10150	Продування і зачищення отворів	Продування і зачищення отворів	Продування і зачищення отворів
3002	Наплавлення дашка і спинки	Наплавлення дашка і спинки	Наплавлення дашка і спинки
3011	×	Наплав. упор. тор.	Наплав. упор. тор.
3003	×	×	Наплавлення п'яти

3050	ХТО з високим відпуском	ХТО з високим відпуском	ХТО з високим відпуском
14650	Свердління отворів на спинці	Свердління отворів на спинці	Свердління отворів на спинці
3100	2-е гартув., низький відпуск	2-е гартув., низький відпуск	2-е гартув., низький відпуск
15800	Шліф. КБД	×	×
16100	Шліф. упорн. тор. начисто	Шліф. упорн. тор. начисто	Шліф. упорн. тор. начисто
15500	Шліф. ВБД	×	×
15900	Шліф. МБД	×	×
16500	Шліф. торець цапфи	×	×
17350	Фрез. пов. 2-гранного кута	Фрез. пов. 2-гранного кута	Фрез. пов. 2-гранного кута
17550	Сверд. два отвори під штифти	Сверд. два отвори під штифти	Сверд. два отвори під штифти
18175	Вик. отв. під п'яту, паз на торці	Вик. отв. під п'яту, паз на торці	×
18900	Пресування п'яти	Пресування п'яти	×
19030	Шліф. торець п'яти	Шліф. торець п'яти	Шліф. торець п'яти
19150	Полірув. упорного торця	Полірув. упорного торця	Полірув. упорного торця
19350	Полірув. п'яти	Полірув. п'яти	Полірув. п'яти
20150	Пресування зубків на спинці	Пресування зубків на спинці	Пресування зубків на спинці

Конструкторсько-технологічний оператор ι_k відповідає частині технологічного процесу T_i , при реалізації якої заготовка лапи набуває заданих конструкторсько-технологічних та функціонально-експлуатаційних властивостей (мікроструктура контрольованих об'ємів, параметри шорсткості, овальності, циліндричності, сприятливого технологічного спадку тощо). Природно, що множина T_i є структурною підмножиною технологічного процесу виготовлення лапи T_n .

При моделюванні процесу виготовлення лапи A_i у виробничій системі B_C вихідними даними про лапу служить створена при проектуванні конструкції модель контурів $F(A_i)$. Результатом моделювання є структура елементів виробничої системи, яка реалізовує задані контури лапи. До того ж властивості лапи і виробничої системи описують однаковими контурами:

$$F_j(A_i) = F_j(B_C), \quad (2)$$

де $F_j(A_i)$ – дійсна властивість виробу, а наявність контуру $F_j(B_C)$ відображає можливість реалізації $F_j(A_i)$ у виробничій системі B_C .

Модель технологічного процесу T_n зображають упорядкованою послідовністю конструкторсько-технологічних операторів ι_k

$$\iota_i = (\iota_1, \iota_2, \iota_3, K, \iota_{k-1}, \iota_k, K, \iota_n), \quad (3)$$

що описують конструкторсько-технологічні чи структурні зміни моделі заготовки лапи A_i на кожній технологічній операції її оброблення і забезпечують перетворення цієї моделі з попереднього $(A_i)_{k-1}$ у наступний $(A_i)_k$ та врешті – кінцевий стан $(A_i)_n$.

Якщо оператор ι_k забезпечує реалізацію $F_j(A_i)$ то $F_j(\iota_k) = 1$, якщо не забезпечує, то $F_j(\iota_k) = 0$. Для побудови моделі техпроцесу беруть операції, для яких виконується умова $F_j(\iota_k) = 1$.

Графічною ілюстрацією моделі варіантів технологічного процесу є орієнтований граф (рис. 3). Кожен з альтернативних шляхів у цьому графі визначає структурну впорядкованість операторів ι_k , які є його вершинами і відповідають конкретним технологічним операціям (на графі вершини позначені кодами операцій).

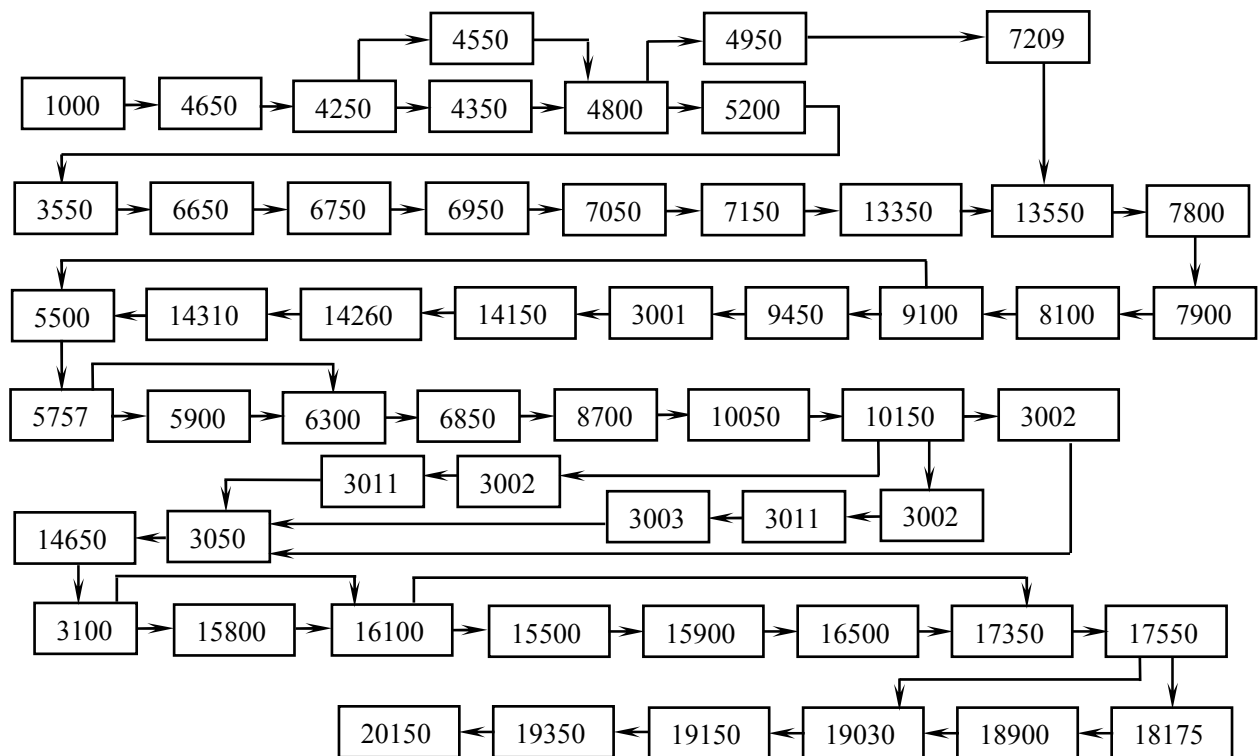


Рисунок 3 – Граф альтернативних варіантів технологічних процесів виготовлення лапи долота

Встановлення найкращого технологічного процесу здійснюють обчисленням і порівнянням ефективності кожного оператора технологічної операції в графі та визначають оптимальний шлях руху від початку графа до його кінця.

Критеріями ефективності технологічних операцій є три групи показників якості: конструкторсько-технологічні, функціонально-експлуатаційні, експлуатаційні. Зокрема, множина конструкторсько-технологічних показників якості формується на основі забезпечення: доброї зварюваності та здатності до механічного оброблення різанням (K_{K1}); градієнта твердості від поверхні до серцевини (K_{K2}); стабільності в точності оброблення (K_{K3}); можливості оброблення з одного установу (K_{K4}); округлості (K_{K5}); циліндричності (K_{K6}); заданої шорсткості (K_{K7}); автоматизації процесів (K_{K8}); виробничої технологічності (K_{K9}); мобільності переналагодження обладнання (K_{K10}).

Множина функціонально-експлуатаційних показників якості формується на основі забезпечення: зносостійкості в умовах тертя ковзання і дії високих контактних температур ($K_{Ф1}$); контактної витривалості й зносостійкості в умовах тертя кочення ($K_{Ф2}$); стійкості до пластичної деформації та крихкого руйнування ($K_{Ф3}$); зносостійкості в умовах дії гідроабразивного, ударно-абразивного впливів ($K_{Ф4}$); однорідності фізико-механічних властивостей оброблених поверхонь ($K_{Ф5}$); мінімум дефектів оброблених ділянок деталі ($K_{Ф6}$); сприятливої технологічної спадковості ($K_{Ф7}$).

Множина економічних показників якості формується на основі забезпечення: підвищення продуктивності праці ($K_{Е1}$); зниження трудомісткості ($K_{Е2}$); зниження собівартості ($K_{Е3}$); енергоощадності ($K_{Е4}$); економії матеріалів ($K_{Е5}$); зниження браку ($K_{Е6}$); зменшення виробничих площ ($K_{Е7}$); ефективності капіталовкладень ($K_{Е8}$).

Відомо, якщо якісний показник є результатом конкретної події, то як елемент множини у кожному разі він має імовірнісне значення [9]. Тому універсальним критерієм ефективності технологічної операції може бути максимальна імовірність забезпечення якісних показників. Наприклад, технологічна операція кінцевого точіння цапфи лапи порівняно зі шліфуванням формує вищу ймовірність забезпечення:

однорідності фізико-механічних властивостей оброблених поверхонь ($K_{\Phi 5}$), мінімум дефектів оброблених ділянок деталі ($K_{\Phi 6}$), сприятливої технологічної спадковості ($K_{\Phi 7}$). Для параметричної формалізації імовірність, яка наближається до 1, отримуватиме логічний код 1 (один бал), в іншому випадку – код 0. Тоді, якщо показник якості забезпечується технологічною операцією, то оцінюється 1 балом, інакше присвоюється 0. Відповідно множина показників якості є сумою балів (логічних одиниць) встановлених показників якості й формує важливість операції у техпроцесі з позиції ефективності.

Використання конструкторсько-технологічних рішень для організації виробництва, верстатів, інструменту та технологічного оснащення, а також позиції операції у технологічному маршруті суттєво впливає на якісні показники не тільки даної операції, а й цілого технологічного процесу.

Для встановлення критерію визначення того, що ймовірність забезпечення технологічною операцією показника якості наближається до 1, накладаються обмеження:

$$P_i \leq [P_i], \quad (4)$$

де $[P_i]$ – задане найгірше допустиме значення імовірності.

Найгірше допустиме значення імовірності $[P_i]$ відповідає умовам, коли конкретний показник якості, маючи мінімальність, повинен увійти у множину показників якості, що забезпечуються конкретною операцією, яка оцінюється.

Оскільки ймовірності подій порядку 0,90 та вище можна взяти для точної характеристики надійності статистичного оцінювання події і ту обставину, що поряд з терміном „довірча ймовірність” використовують для позначення імовірності термін „надійність” [10], то були накладені обмеження: $[P_i] \geq 0,90$.

Отже, будь-який шлях з початкової операції до кінцевої у завершій допустимій множині дуг орієнтованого графу задовольнятиме умову доповнюючої нежорсткості і, отже, буде оптимальним [11]. Відтак кожна дуга, яка стає допустимою (входить у послідовність операцій, що формуються), залишається допустимою протягом усього процесу побудови оптимального техпроцесу. Це обґрунтовується тим, що має забезпечуватись орієнтований перехід від $(A_i)_{k-1}$ у $(A_i)_k$ і т.д. до $(A_i)_n$. Дискретно при кожному кроці додається дуга (перехід) і буде виконуватися опис руху заготовки від вершини до вершини (від операції до операції чи від дільниці цеху до іншої дільниці цеху). Наприклад, на рис. 4 зображено граф альтернативних варіантів переміщення деталей між цехами і дільницями при реалізації розглядуваних (табл. 1) технологічних процесів. Аналіз графу дає чітке уявлення, що найкоротший шлях (ефективний рух деталей) є у варіанта проектного № 2 з безцентровим мехобробленням з наплавленням п'яти.

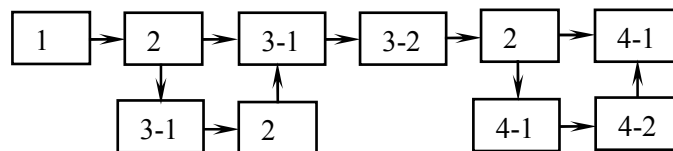


Рисунок 4 – Граф переміщення заготовок лап між цехами при реалізації альтернативних технологічних процесів:

- 1 – цех виготовлення поковок; 2 – цех механічного оброблення лапи; 3-1 – цех термічного оброблення, дільниця наплавлення; 3-2 – цех термічного оброблення, дільниця хіміко-термічного оброблення; 4-1 – складальний цех, дільниця складання; 4-2 – складальний цех, дільниця кінцевих механічних оброблень

Параметричний аналіз графів альтернативних варіантів технологічних процесів виготовлення лапи з позицій показників якості виявив наступне. Найбільш вагомим

операції, які забезпечують конструкторсько-технологічні показники якості лапи, є під кодами 1000, 7209, 3001, 3011, 3003, 3050, 3100. Технологічні операції під кодами 1000, 7209, 3001, 3002, 3011, 3003, 3050, 3100, 19150, 19350 – визначають функціонально-експлуатаційні показники якості лапи. Значні технологічні операції, які забезпечують економічні показники якості лапи, позначені кодами 1000, 7209, 3001, 3002, 3011, 3003, 3050, 3100.

Серед згаданих технологічних операцій за вагомістю впливу на ефективність технологічного процесу виділяється операція 1000. Її ефективність зумовлена тим, що на сьогодні повністю освоєно автоматизоване проектування і створення складного штампового інструменту для виготовлення поковок лап бурових доліт. Так, в [12] запропоновано нову концепцію наскрізного комп'ютерного автоматизованого (CAD/CAM/CAE – технології) проектування і виготовлення в одному інформаційному технологічному процесі від проектування заготовки і штампового оснащення до контролю готових штампованих виробів. Упровадження цього автоматизованого проектування на ВАТ „Волгабурмаш” дозволило у 8 разів скоротити цикл освоєння штампів для виготовлення нових конструкцій поковок лап і до 2,7 раза знизити вартість пресового оснащення на одну поковку, що відкрило нові резерви економії енергетичних і трудових ресурсів.

На ВАТ „Дрогобицький долотний завод” до 2001 року використовували традиційне ручне проектування поковок та штампового оснащення з подальшим виготовленням штампів на гідрокопіювальних верстатах 6Б443Г з використанням дерев'яних моделей штампів. Час від стадії проектування до виготовлення займав 5-6 місяців. Сучасні методи автоматизованого проектування з використанням нового покоління програм “Компас-графік” та “Cimatron E” дозволили скоротити час до 2-ох місяців. Виготовляють штампи на верстатах MCV 1000A фірми “Kovosvit” (Чехія). При цьому зникла необхідність виготовляти значну кількість шаблонів для контролю точності виготовлення штампів (з 40-50 шт. до 5-6). Точне виготовлення штампу дозволило зменшити норму витрат долотної сталі на 4-8%.

Вагомими також є операції наплавлення 3011 і 3003, які виконують на автоматизованому устаткуванні плазмового наплавлення ПМ-300Д.

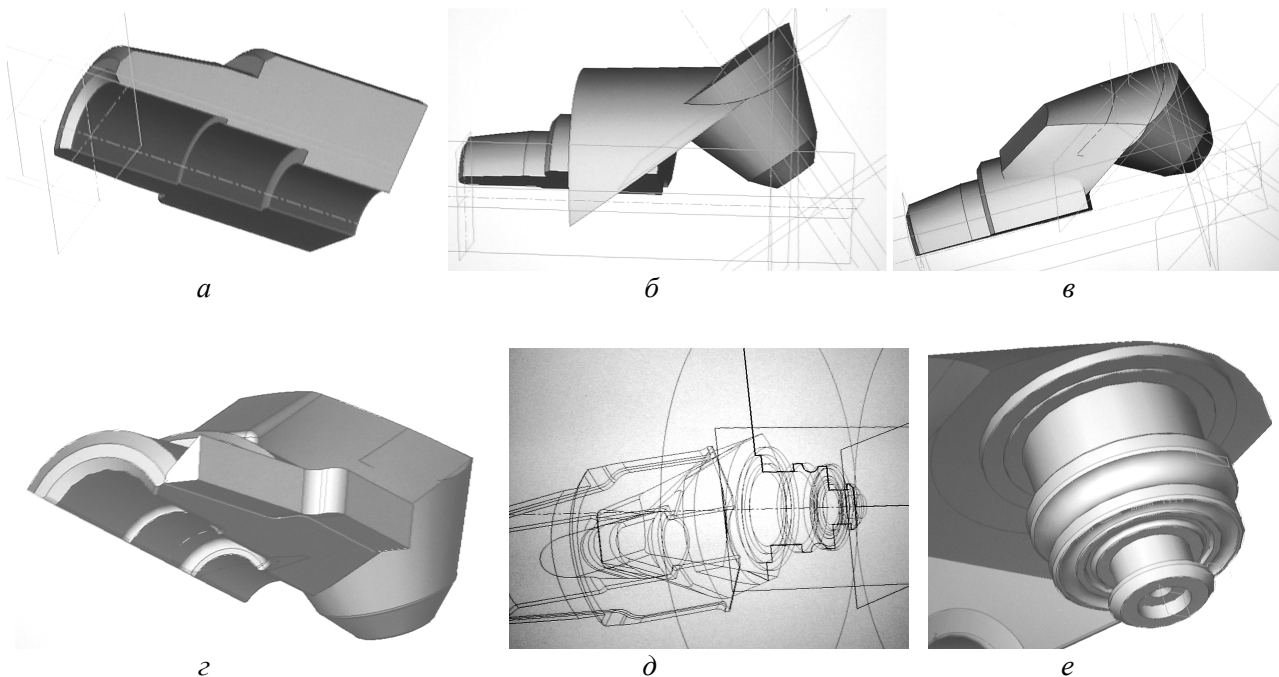
Технологічні операції 3050 і 3100 хіміко-термічного оброблення здійснюють згідно з відпрацьованою технологією у печах Ipsen – Carb-o-Prof – III, що передбачають комп'ютеризований контроль і керування технологічним процесом. При цьому забезпечується не тільки задана точність і стабільність якісних показників оброблених деталей, а й раціональне використання енергоносіїв.

Ефективною і вагомою є також технологічна операція 7209, яку виконують на токарному верстаті з ЧПК моделі TV650/4 фірми „DANOBAT” (Іспанія). Проте для максимального використання усіх можливостей автоматизованого механічного оброблення необхідно вирішити деякі конструкторсько-технологічні проблеми, пов'язані з проектуванням технології оброблення лапи.

У зв'язку з цим здійснено автоматизоване проектування 3-D твердотільної моделі, конструювання лапи тришарошкового бурового долота. При цьому вибрано шлях проектування, який дозволяє одночасно моделювати і конструкцію лапи і технологічні операції механічних оброблень та наплавлення. Для проведення автоматизованого проектування використано одне інформаційне середовище на базі програмного продукту Cimatron E4.2, що дозволяє остаточно автоматизовано отримати робочу керуючу програму механічного оброблення на токарному верстаті з ЧПК моделі TV650/4 фірми „DANOBAT” (Іспанія).

Отже, на основі розроблених креслень проектування і конструювання 3-D моделі лапи проводять у такій послідовності (рис. 5). Обирають систему координат, будують основні площини у вибраній системі. Далі проектують ніпель долота та будують базову поверхню двогранного кута лапи. Способом вирізування зайвих об'ємів утворено модель двогранного кута та проштампованої ніпельної частини лапи

(рис. 5 а). Далі обрізають двогранний кут ніпеля лапи. Для подальших побудов знову проектують площини цапфи лапи. Проектують заготовки поковки під цапфу, а потім під спинку лапи (рис. 5 б). Способом виділення зайвих об'ємів і наступним їх видаленням утворюється 3-D модель поковки лапи (рис. 5 в). Далі проектують конструкцію фаски на лапі для зварювання при складанні долота. При конструюванні фаски моделюють об'єм, що відповідає полю руху інструменту при формуванні фаски (рис. 5 г). Також способом видалення об'єму з твердотільної моделі утворюють глибокий отвір під проштампування лапи. Для проектування конструкції цапфи лапи створюють контури, що відповідають руху інструменту для механічного оброблення цапфи (рис. 5 д). Відповідно побудована конструкція 3-D моделі цапфи лапи відповідає заготовці лапи після першого механічного оброблення (рис. 5 е). Конструюють площину паза для охолодження лапи, спроектувавши об'єми, які відповідають полю руху фрези при механічному обробленні (рис. 5 є). Аналогічно моделюють конструкцію підшарошкової поверхні, що конструюють аналогічно і реалізують у технологічному процесі фрезеруванням (рис. 5 ж). Моделі конструювання отворів під замковий палець та охолоджуючий агент у цапфі використовують для проектування технологічних операцій свердління (рис. 5 з). Для формування поверхні козирка спинки лапи створюють модель об'єму, що відповідає полю руху фрези при обробленні дашка спинки лапи (рис. 5 и). Способом копіювання спроектованого отвору під твердосплавну вставку створюють конструкцію захисного вставного озброєння спинки лапи (рис. 5 і). Для моделювання наплавленого шару на упорному торці лапи відносно контуру цапфи створюють об'єм у вигляді кільця (рис. 5 ї) і способом накладання та видалення зайвих об'ємів формують конструкцію наплавленого шару на упорному торці лапи (рис. 5 й). Використовуючи 3-D модель п'яти, здійснюють суміщення з отвором торця цапфи, виконують її посадку (рис. 5 к).



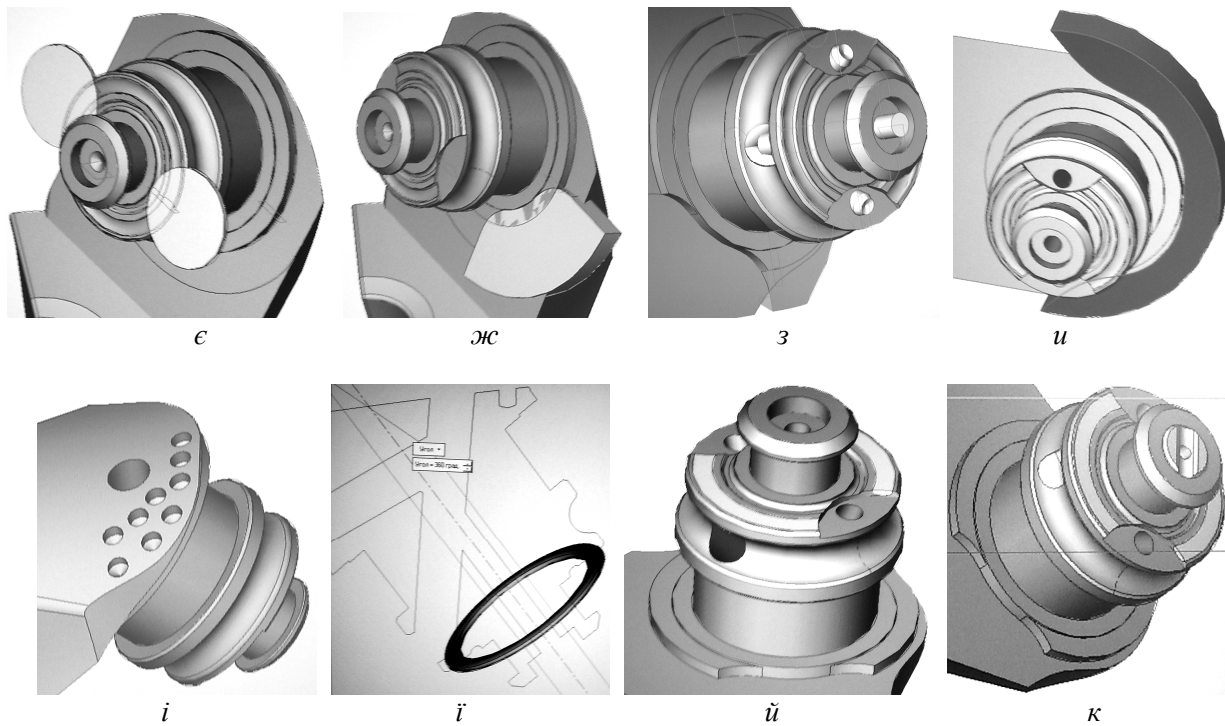


Рисунок 5 – Фрагменти побудови 3-D моделі лапи тришарошкового долота:

а – вигляд проштампованої порожнини ніпеля лапи; *б* – побудова спинки лапи; *в* – загальний вигляд 3-D моделі поковки лапи; *г* – проектування конструкції зварної фаски лапи; *д* – контури, що формують цапфу лапи; *е* – модель цапфи лапи після механічного оброблення; *є* – моделювання фрезерування цапфи; *ж* – моделювання фрезерування підшарошкової поверхні цапфи; *з* – моделювання конструкції отворів у цапфі; *и* – моделювання фрезерування дашка спинки лапи; *й* – моделювання отворів під твердосплавні вставки; *і* – моделювання наплавленого шару; *ї* – вигляд цапфи після наплавлення торця; *к* – вигляд цапфи після встановлення п'яти

Проектування технологічного процесу і створення робочої керуючої програми здійснюють у кілька етапів. Спочатку завантажують твердотільну 3-D модель конструкції лапи, отриману на стадії проектування і конструювання для NC-оброблення. Далі створюють модель процедури для початкового оброблення на основі проєктованих контурів, що обмежують рух інструменту. Її використовують для оптимізації траєкторії інструменту, а також при імітації та перевірці результатів за допомогою функцій симулятора і верифікатора. Ці функції дають можливість оцінювати якість процесів руху інструменту і отримання оброблених поверхонь. З бази даних стандартних інструментів вибирають інструмент для оброблення. Відповідно встановлюють вибір контуру поверхні оброблення та його режими. Далі призначають траєкторію руху інструменту. Потім створюють з'єднання між процедурами чи між початковою точкою інструменту і поточною процедурою. Після перегляду проєкту моделі оброблення у симуляторі задають координати верстата /MACSYS/ відповідно до системи координат користувача /СКП/. Необхідно вказати нуль стола верстата і висоту пристрою, усі інші вихідні координати обчислюють автоматично.

Для подальшої роботи з проєктом моделі оброблення іде звертання до постпроцесора, в якому комп'ютер перетворює у машинних кодах з системи Cimatron E4.2 в коди системи ЧПК. При цьому автоматично створюється робоча керуюча програма для механічного оброблення цапфи лапи. Цехове верстатне управління має діалогові та ISC формати. Керуючу робочу програму оброблення легко записати на жорсткий диск верстатного комп'ютера, вона доступна для оператора верстата, що дозволяє ефективно налагоджувати та підготовляти верстат до механічного оброблення. Інтерактивна графіка дає змогу демонструвати індивідуальні кроки для програмування контуру оброблення деталі, а точна орієнтація цапфи, завдяки

спеціальному пристрою відносно інструменту, дозволяє з одного установу проводити комплекс токарних операцій, які забезпечують високу якість лапи (рис. 6).

Час проектування і конструювання 3-D моделі лапи та створення керуючої програми, а також налагодження верстата займає близько чотирьох робочих днів. Повна автоматизація отримання керуючої робочої програми усунула усі проблеми, властиві для традиційної технології проектування, конструювання та виготовлення лап шарошкових бурових доліт.

Упровадження токарного верстата „DANOBAT” з ЧПК дозволило з одного установу виконувати усе механічне оброблення цапфи лапи, а також не тільки забезпечувати стабільність шорсткості поверхонь, які обробляють, а й циліндричність та овальність. Відповідно це зменшило час на механічне оброблення цапфи. Зокрема, при базовому механічному обробленні в центрах із застосуванням кінцевого шліфування сумарна норма часу становила 2,16 год. при сумарній оплаті праці основних робітників, що виконують операції мехоброблення 14,17 грн. Завдяки апробації та впровадженню автоматизованого безцентрового точіння цапфи лапи встановлено норму часу на оброблення 1,35 год. і сумарну ціну операцій 9,04 грн. Отже, впровадження дозволяє скоротити час оброблення однієї лапи на 41 хв., при цьому зменшено ціну мехоброблення на 5,13 грн. – станом на розцінки операцій до жовтня 2009 р.

Отже, обчислення згідно із розробленим параметричним підходом кількісних показників ефективності альтернативних варіантів технологічних процесів дозволило встановити таке (табл. 2). У загальному технологічний процес № 1 із безцентровим точінням цапфи лапи ефективніший від базового приблизно в 1,6 раза, а технологічний процес № 2 із безцентровим точінням цапфи лапи та наплавленням п'яти ефективніший приблизно в 1,8 раза. Необхідно зауважити, що визначальний вклад у загальну ефективність технологічних процесів внесли вагомі операції конструкторсько-технологічних та економічних показників. При цьому функціонально-експлуатаційні показники якості також суттєво підвищили шанси проектних технологічних процесів.

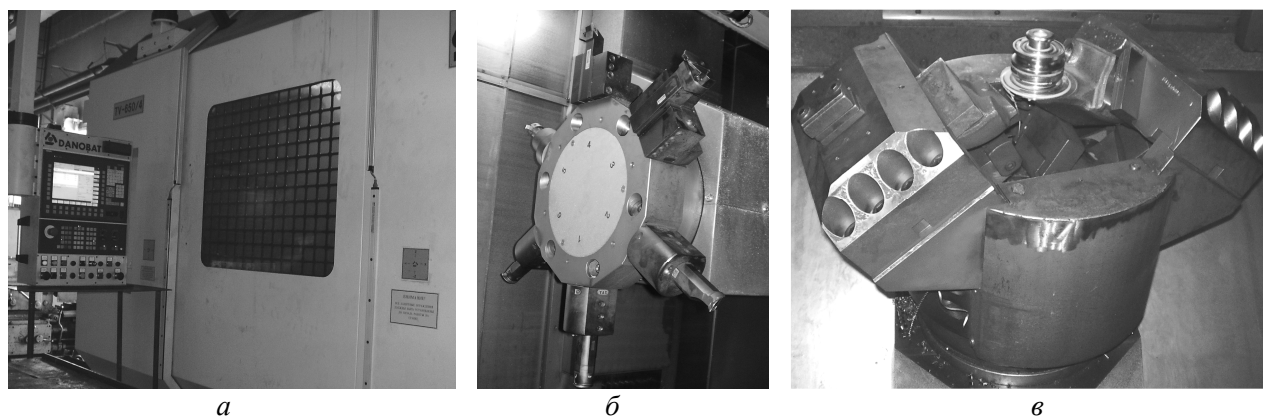


Рисунок 6 – Загальний вигляд верстата „DANOBAT” (а), верстатного різального інструменту (б) і пристрою із зафіксованою лапою, у якій цапфа пройшла перше точіння по контуру (в)

Таблиця 2 – Результати обчислення ефективності варіантів технологічних процесів виготовлення лапи тришарошкового бурового долота 244,5 ОК-ПГВ-Д26.040

Показник якості	Обліковані дані		Базовий техпроцес	Проектний № 1	Проектний № 2
Конструкторсько-технологічні	Кількість	вагомих операцій,			
			4	6	6

	N_{OK}			
	Кількість балів, B_{OK}	5	16	20
	Ефективність, $K_K = B_{OK} / N_{OK}$	1,25	2,67	3,33
Функціонально-експлуатаційні	Кількість вагомих операцій, N_{OF}	7	7	8
	Кількість балів, B_{OF}	10	16	19
	Ефективність, $K_F = B_{OF} / N_{OF}$	1,43	2,28	2,37
Експлуатаційні	Кількість вагомих операцій, N_{OE}	5	6	7
	Кількість балів, B_{OE}	17	30	37
	Ефективність, $K_E = B_{OE} / N_{OE}$	3,4	5	5,28
Загальні	$\Sigma K = K_K + K_F + K_E$	6,08	9,95	10,98

Висновки.

Конструкторсько-технологічне забезпечення якості лапи тришарошкового долота можливе завдяки застосуванню єдиного комплексного підходу до проектування, конструювання та виготовлення. Він ґрунтується на концепції комп'ютеризації та автоматизації цих процесів. Підхід відрізняється тим, що на етапі комп'ютеризованого проектування і конструювання лапи паралельно виконують проектування операцій технологічних оброблень, що дозволяє реалізовувати повну автоматизацію процесів у одному комп'ютеризованому технологічному середовищі. Це дозволяє створювати надійну інформаційну базу для проектування ефективного технологічного процесу з позицій конструкторсько-технологічних, функціонально-експлуатаційних та економічних показників якості. На основі отриманих експериментальних стендових випробовувань та вивчення технологічного досвіду з проектування, конструювання і виготовлення лап тришарошкових бурових доліт розроблено новий підхід, що дозволив спроектувати та апробувати ефективний технологічний процес на основі модернізації та вдосконалення базового техпроцесу (прототипу), який був традиційним. Підхід відрізняється встановленим критерієм для визнання ефективності операції з позиції якості, а також суттєво спрощеною методикою встановлення найкращого варіанта техпроцесу.

Об'єднання складних технологічних операцій механічного оброблення в один автоматизований процес дало змогу усунути проблеми транспортування напівфабрикатів та вивільнити виробничі площі для ефективного використання. Це також дозволяє не тільки якісно поліпшувати алгоритми, на основі яких будуються процеси, а й вирішувати проблему економії матеріалів, енергоносіїв та підвищення продуктивності праці та якості продукції. Відповідно відкриваються можливості здійснювати заходи для сталого поліпшення показників функціонування процесів завдяки постійному оновленню і вдосконаленню програмних продуктів та ресурсних засобів, а також верстатів із ЧПК, що дозволить забезпечити високу гнучкість в освоєнні та створенні нових конструкцій доліт.

Надалі актуальним є пошук резервів підвищення кількості вагомих операцій з позиції формування якісних показників у технологічних процесах виготовлення деталей тришарошкових бурових доліт.

Література

1. 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.
2. 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.
 3. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / Михайлов А.Н. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
 4. Никифоров А.Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения: учеб. пособие для вузов / Никифоров А.Д. – М.: Высшая школа, 2006. – 392 с.
 5. Підвищення працездатності пари тертя „упорний торець бурта лапи – упорний торець шарошки” в тришарошкових бурових долотах для високообертового буріння / Є.І. Крижанівський, Р.С. Яким, Л.Є. Шмандровський, Ю.Д. Петрина // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 4 (29). – С. 90 – 97.
 6. Петрина Ю.Д. Вплив конструкторсько-технологічних параметрів на працездатність опор тришарошкових гірничорудних бурових доліт / Ю.Д. Петрина, Р.С. Яким, Т.Б. Пасинович // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 1 (6). – С. 72 – 77.
 7. Аналіз технологічних шляхів виготовлення штоків бурового насоса / Ю.Д. Петрина, А.В. Швадчак, Р.С. Яким, Б.О. Борушак // Науковий вісник Національного технічного університету нафти і газу. – 2005. – № 1 (10). – С. 46–52.
 8. Технологичность конструкции изделия: справочник / [Амиров Ю.Д., Алферова Т.К., Волков П.Н. и др.]; под общ. ред. Ю.Д. Амирова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
 9. Бусленко Н.П. Лекции по теории сложных систем / Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. – М.: Издательство “Советское радио”, 1973. – 440 с.
 10. Справочник по вероятностным расчетам / [Абезгауз Г.Г., Тронь А.П., Копенкин Ю.Н., Коровина И.А.]. – [2-е изд. доп. и испр.]. – М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1970. – 536 с.
 11. Пападимитриу Х. Комбинаторная оптимизация: алгоритмы и сложность / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц; пер. с англ. В.Б. Алексеева. – М.: Мир, 1985. – 512 с.
 12. 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.

Одержано 14.12.2009 р.