

## ПРОЕКТНІ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНОСТІ ТА ЯКОСТІ ПРИ СТВОРЕННІ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ

Є.І.Крижанівський, Р.С.Яким, Л.Є.Шмандровський, Ю.Д.Петрина

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (03422) 43024;  
e-mail: public@nuing.edu.ua

*Запропоновано єдиний комплексний підхід до проектування, конструювання та виготовлення шарошкочових бурових доліт, який ґрунтується на концепції комп'ютеризації та автоматизації процесів створення деталей доліт, що забезпечує підвищення якості, продуктивності праці і енергоощадності. Його особливістю є процесність, що полягає у тому, що на етапі автоматизованого проектування і конструювання деталей бурових доліт закладаються основи для проектування технологічних процесів виготовлення та реалізації цих процесів в одному комп'ютеризованому технологічному середовищі.*

Ключові слова: проектування, конструювання, виготовлення, якість, енергоощадність, процесний підхід, бурове долото

*Предложен единый комплексный подход к проектированию, конструированию и изготовлению шарошечных буровых долот, основывающийся на концепции компьютеризации и автоматизации процессов создания деталей долот, что обеспечивает повышение качества, производительности труда и экономию энергии. Его особенность состоит в том, что на этапе автоматизированного проектирования и конструирования деталей буровых долот закладываются основы для проектирования технологических процессов изготовления и реализации этих процессов в одной компьютеризированной технологической среде.*

Ключевые слова: проектирование, конструирование, изготовление, качество, экономия энергии, процессный подход, буровое долото

*The united complex approach to the projection, design and making of the cone rock bits is suggested. At is based on the computing and automation concept of rock bit parts making processes that guarantees the quality increase, labour productivity and energy saving. This approach is a process one, which is realized by the means of the principles laying for the processing projection of the making and realization these processes in the computing technological environment on the phase of rock bit parts computer-aided design.*

Keywords: projection, design, making, quality, energy saving, process approach, rock bit

На сьогодні нафтогазова промисловість увійшла у нову фазу технічного переоснащення, яке характеризується широким впровадженням енергоощадних і маловідходних технологій. Встановлення сучасних та економічних опалювальних, компресорних і вентиляційних систем у виробничих, адміністративних та побутових приміщеннях заводів галузі суттєво покращує економічні показники діяльності підприємств та умови праці робітників. Наприклад, на провідному промисловому підприємстві Львівщини, єдиному вітчизняному виробнику бурових доліт та іншого бурового інструменту для нафтогазової, гірничорудної промисловостей, геологорозвідування, потреб інших галузей, – ВАТ „Дрогобицький долотний завод” впровадження таких технологій дало змогу різко скоротити об'єми споживання газу та електроенергії. Так, якщо в 2001 році було спожито 7262,8 тис м<sup>3</sup> газу, то в 2005 році спожито лише 2236,2 тис м<sup>3</sup>, тобто зменшено в 3,25 рази. У 2008 об'єми споживання становили вже 753 тис м<sup>3</sup> газу. Використання електроенергії у вказані періоди характеризуються величинами: 28501 тис кВт год на 2001 рік та 19720,0 тис кВт год. на 2005 рік і 12504,0 тис. кВт год. на 2008 рік. Слід зауважити, що таке скорочення споживання енергоносіїв відбулося на фоні практично однакових об'ємів випуску продукції. Проте питання пошуку і відкриття

нових підходів до розв'язання проблеми впровадження нових технологій і заходів з метою забезпечення енергоощадності є актуальним.

Традиційним у розв'язанні даної проблеми є впровадження високоефективної технології, що забезпечує пряме зменшення споживання енергії, підвищення якості продукції. Зокрема, проведені дослідження з підвищення довговічності [1] опор бурових доліт з наплавленим підшипником ковзання на торці лап порошковим стелітом Stellite 190 засвідчили високу ефективність автоматизованого плазмового наплавлення на устаткуванні ПМ-300Д. Впровадження устаткування дало можливість практично виключити людський чинник, тим самим звівши до нуля кількість кінцевого браку у процесі наплавлення упорного торця, зменшити норму розходу наплавочного матеріалу в середньому на 20%, збільшити продуктивність праці у процесі наплавлення лап удвічі. Устаткування дало можливість виключити потреби в карбіді кальцію та кисню, які раніше використовувалися при ручному наплавленні. Дане устаткування працює автономно, тобто не потребує роботи допоміжних служб цеху. Впровадження устаткування дало змогу оптимізувати маршрути виготовлення лап шляхом зменшення операцій механічної обробки (ліквідовано попереднє шліфування упорного торця) та уникнути зайвих міжцехових перевезень.

Одним з найновіших напрямків вирішення окресленої проблеми є застосування комп'ютеризованого проектування конструкцій доліт, що дає змогу суттєво знизити трудові затрати на розробку технічної документації на нові долота. Основоположні засади та методика такого ефективного проектування розроблена в [2]. Відомі також останні роботи з автоматизованого проектування і створення складного штампового інструменту для виготовлення поковок лап бурових доліт [3]. Автором запропонована нова концепція 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. Впровадження цього автоматизованого проектування на ВАТ „Волгабурмаш” дало змогу у 8 разів скоротити цикл освоєння штампів для виготовлення нових конструкцій поковок лап і до 2,7 разів знизити вартість пресового оснащення на одну поковку, що відкрило нові резерви економії енергетичних і трудових ресурсів.

На ВАТ „Дрогобицький долотний завод” до 2001 року використовувалось 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 дало змогу скоротити час до 2-х місяців. Виготовлення штампів відбувається на верстатах MCV 1000A фірми Kovosvit (Чехія). При цьому відпала необхідність у виготовленні значної кількості шаблонів для контролю точності виготовлення штампів (з 40-50 шт до 5-6 шт.). Точне виготовлення штампу уможливило зменшення норм витрат долотної сталі на 4-8%.

Вивчення сучасних тенденцій в теорії і практиці створення й вдосконалення бурових шарошкових доліт [4], а також комплексу вимог до системи управління якістю [5] та сучасного розуміння процесного підходу до організаційної структури технологічної системи [6], дозволило розв'язувати проблему з позиції створення єдиного комплексного підходу до проектування, конструювання та виготовлення шарошкових бурових доліт. Він ґрунтується на концепції комп'ютеризації та автоматизації усіх процесів на усіх етапах створення доліт, що забезпечує підвищення якості, продуктивності праці та енергоощадності. При цьому ставиться вимога до забезпечення процесного підходу з позицій якості та енергоощадності.

Даний підхід відрізняється тим, що на етапі автоматизованого проектування і конструювання деталей бурових доліт закладаються основи для проектування технологічних процесів виготовлення та реалізації цих процесів у єдиному комп'ютеризованому технологічному середовищі.

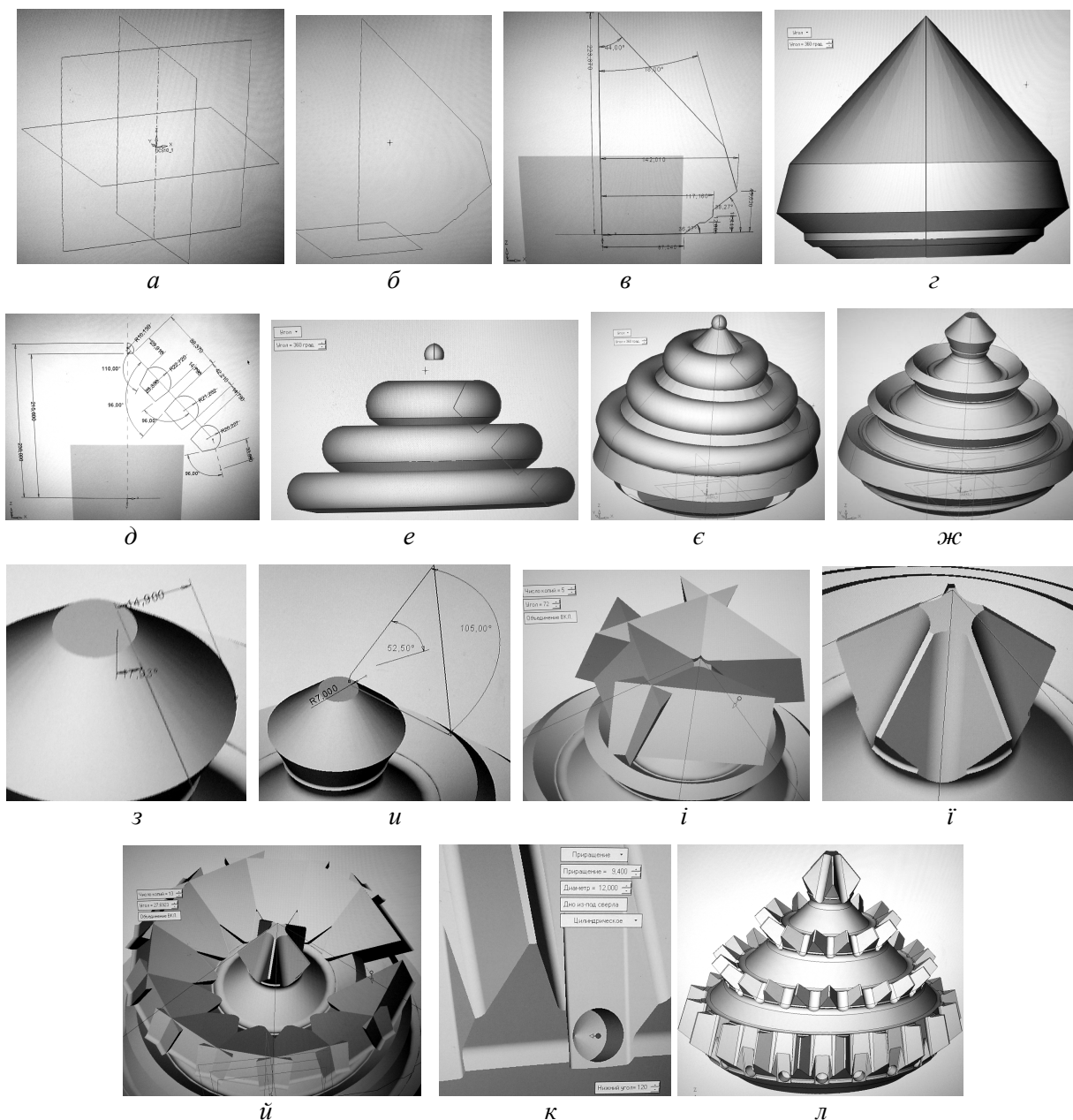
З метою реалізації даного підходу було здійснено автоматизоване проектування 3-D твердотільної моделі, конструювання фрезерованого оснащення шарошок бурових доліт з подальшим проектуванням механічної обробки в одному програмному середовищі Cimatron E4.2 з остаточним автоматизованим отриманням робочої керуючої програми механічної обробки. Обробка ведеться на п'ятикоординатному обробляючому центрі моделі MCV 1270 фірми Kovosvit (Чехія).

Отже, на основі розроблених креслень проектування і конструювання 3-D моделей фрезерованого оснащення шарошок проводиться в такому порядку (рис. 1). Здійснюється вибір бази і осей майбутньої моделі. Далі проводиться проектування контуру моделі в площині перерізу. Встановлюються конструктивні параметри контуру моделі в площині перерізу. Способом обертання навколо осі шарошки спроектованого контуру моделі отримують заготовку 3-D моделі (рис. 1, з), яка імітує контури поковки заготовки шарошки.

Далі відбувається проектування в площині перерізу моделі об'ємів, які повинні бути видалені з тіла моделі заготовки, та встановлення їх конструктивних параметрів. Способом обертання навколо осі шарошки спроектованих контурів перерізів створюються 3-D моделі об'ємів, які повинні бути видалені з тіла 3-D моделі заготовки. Суміщення і накладення на модель контурів об'ємів, що повинні бути видалені, дає змогу оцінити правильність проекту (рис. 1, а, е, е). У результаті усунення виділених об'ємів формується твердотільна 3-D модель, що відповідає параметрам каліброваної заготовки для механічної обробки (рис. 1, ж). В технологічному ланцюгу дана калібрована заготовка відповідає напівфабрикату, який пройшов операції обточка конусів шарошки і прорізування міжвінцевих канавок.

Наступним етапом є проектування конструктивних параметрів зубів вершини шарошки. Спочатку вибирається база від якої здійснюється відлік при конструюванні зубів вершини шарошки. Далі будується траєкторія руху інструменту. Для встановлення параметрів зубів вершини шарошки проводять побудову контуру інструменту, від геометричних розмірів якого залежать ці параметри. Створюється спочатку один контур об'єму, який повинен бути видалений із заготовки 3-D моделі каліброваної заготовки. Потім він автоматично копіюється і формується ряд об'ємів, що повинні бути видалені (рис. 1, з, u, i). В результаті усунення об'ємів на 3-D моделі каліброваної заготовки утворюються зуби вершини моделі шарошки (рис. 1, i). Аналогічно здійснюється виділення і тиражування об'ємів, які повинні бути видалені з 3-D моделі каліброваної заготовки для всіх решта рядів зубів (рис. 1, i).

Для шарошок з додатковим калібруючим рядом твердосплавного вставного оснащення аналогічним чином утворюються площини на впадинах між зубами першого ряду. Далі проводиться вибір і встановлення конструктивних



*а* – вибір бази і осей майбутньої моделі; *б* – проектування контуру моделі в площині перерізу; *в* – встановлення конструктивних параметрів контуру моделі в площині перерізу; *г* – твердотільна 3-D модель заготовки, отримана поворотом на 360° спроектованого контуру; *д* – проектування в площині перерізу моделі контурів об'ємів, що повинні бути видалені з тіла 3-D моделі заготовки; *е* – твердотільна модель контурів канавок, що повинні бути видалені з тіла 3-D моделі заготовки; *ж* – вирізування з 3-D моделі заготовки канавок; *з* – вигляд твердотільної 3-D моделі, що відповідає параметрам каліброваної заготовки для фрезерування; *и* – побудова траєкторії руху інструменту; *и* – побудова контуру інструменту, який визначає параметри зубів вершини шарошки; *і* – створені об'єми, що повинні бути видалені з тіла моделі каліброваної заготовки; *ї* – утворені зуби вершини моделі шарошки після видалення виділених об'ємів; *ї* – виділення і тиражування об'ємів, що повинні бути видалені з моделі каліброваної заготовки для третього ряду зубів; *к* – встановлення конструктивних параметрів отворів з подальшим їх автоматизованим копіюванням; *л* – твердотільна 3-D модель породоруйнуючого оснащення шарошки готова до моделювання механічної обробки і створення робочої керуючої програми механічної обробки

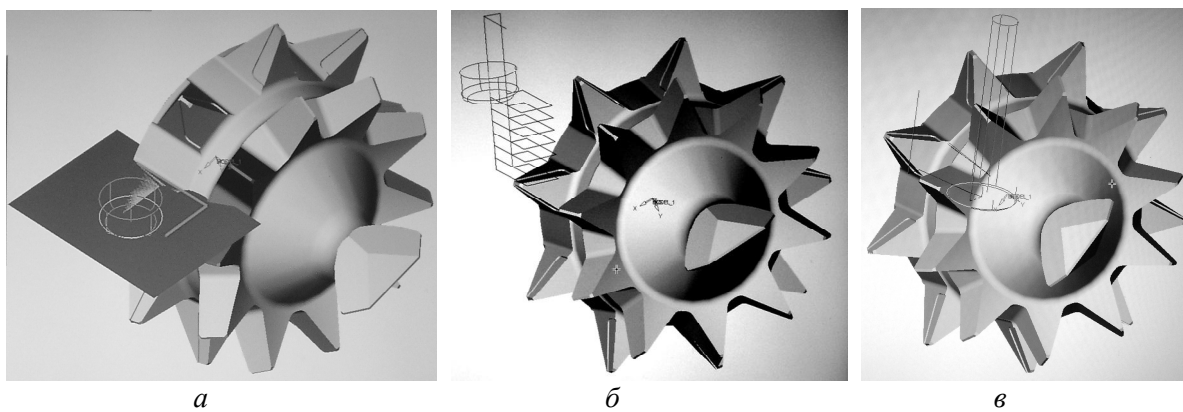
**Рисунок 1 – Фрагменти створення твердотільної 3-D моделі конструкції породоруйнуючого оснащення шарошки № 1 бурового долота 444,5 С-ЦГВУ-D45**

параметрів отворів з подальшим їх автоматизованим копіюванням (рис. 1, *к*).

У результаті утворюється твердотільна 3-D модель породоруйнуючого оснащення шарошки, яка готова до проектування моделі механічної обробки і створення робочої керуючої про-

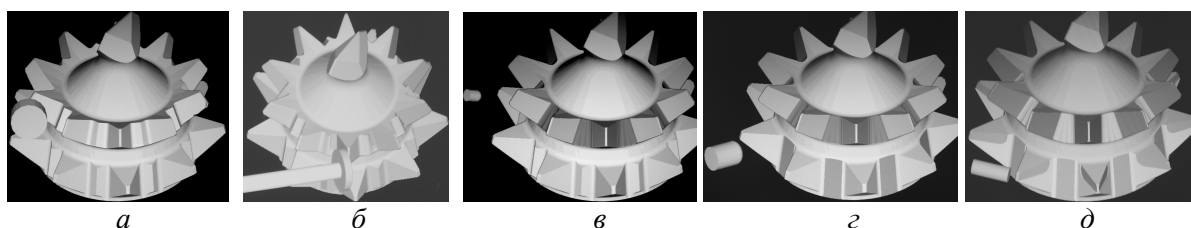
грами для цехового комп'ютеризованого обробляючого центру (рис. 1, *л*).

Процес проектування технологічного процесу і створення робочої керуючої програми здійснюється в декілька етапів. Спочатку завантажується твердотільна модель конструкції



*а* – вибір контуру фрезерування, інструменту і площини обробки;  
*б* – проектування траєкторії переміщення інструменту при обробці елемента контуру;  
*в* – проектування траєкторії переходу інструменту до обробки наступного контуру

**Рисунок 2 – Підготовка до моделювання траєкторії руху інструменту**



*а* – зняття основної частини металу (торцева фреза  $\varnothing 32$  R 390-032A 32-17M);  
*б* – чистова обробка поверхні зубів (дискова фреза  $\varnothing 40$  R 33135-02-40A 160M080);  
*в* – обробка впадин між зубами (фреза  $\varnothing 10$  VBD MV10-200753-0010);  
*г* – підбір dna впадин на периферійному ряді зубів (торцева фреза  $\varnothing 20$  R 390-020A 20-11M);  
*д* – фрезерування т-подібних зубів (монолітна торцева фреза  $\varnothing 12$  KF 311 120ZX3)

**Рисунок 3 – Загальний вигляд в симуляторі фрагментів процесу поетапного фрезерування зубів шарошки № 1 долота 311,1 М-ГВУ-D105**

порядоруйнуючого оснащення шарошки, отримана на стадії проектування і конструювання для NC-обробки. Далі створюється модель процедури для початкової обробки каліброваної заготовки, з якої в процесі обробки буде створюватися форма зубів шарошки. Вона використовується для оптимізації траєкторії інструменту, а також при імітації і 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 вибирається інструмент для обробки. Відповідно встановлюється вибір контуру поверхні обробки та режими обробки. Далі створюється траєкторія руху інструменту (рис. 2). Вона включає послідовність однієї або декількох процедур обробки, які виконуються з урахуванням заданого типу траєкторії, тобто числа одночасно працюючих осей верстата. Потім створюється з'єднання між процедурами чи між початковою точкою інструмента і поточною процедурою.

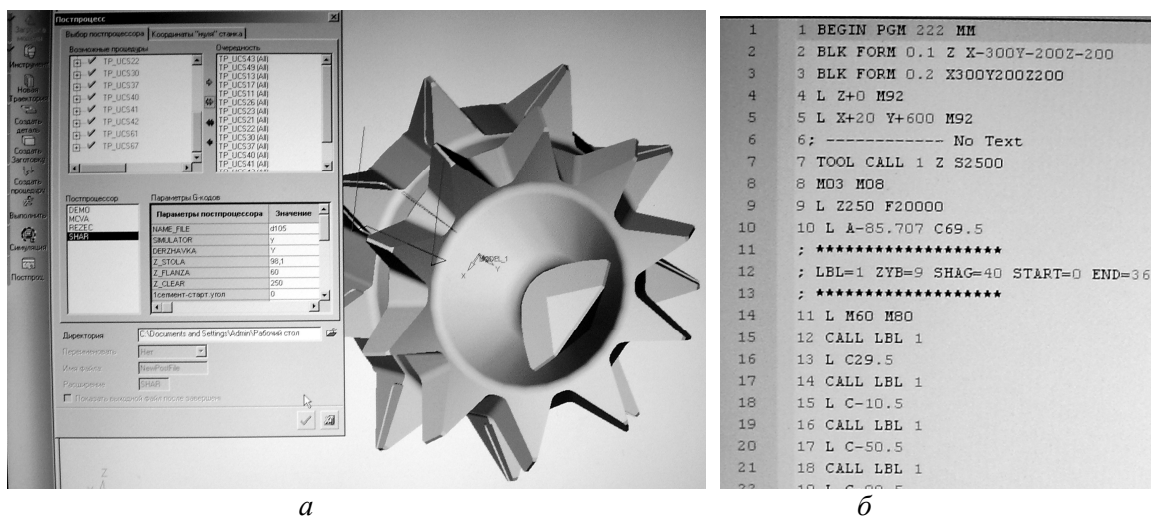
Після перегляду проекту моделі обробки в симуляторі поетапної обробки фрезеруванням (рис. 3) задають координати верстата /MACSYS/ у відповідності до системи координат користувача /СКП/. Необхідно вказати "нуль" стола верстата і висоту пристрою, всі

решта вихідних координат обчислюються автоматично (рис. 4, а).

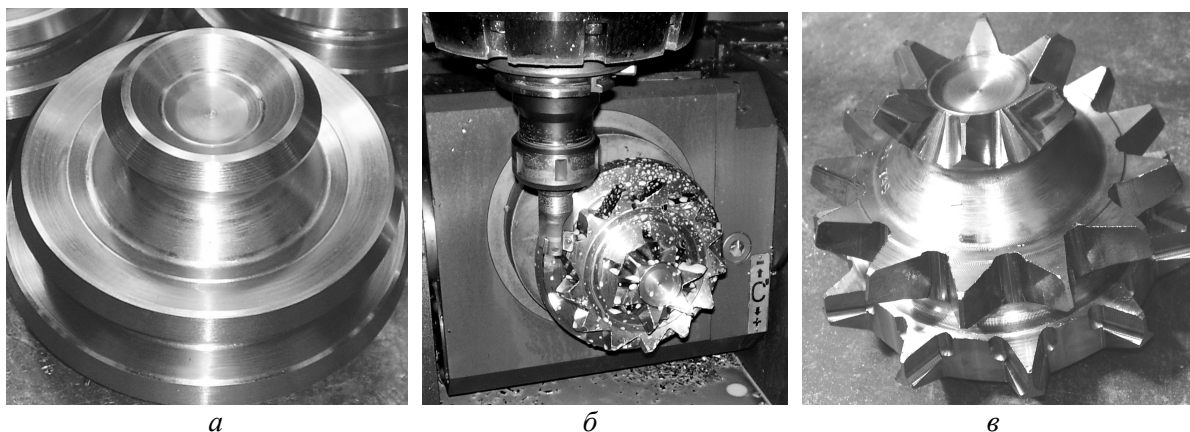
Для подальшої роботи з проектом моделі обробки іде звертання до постпроцесора, в якому комп'ютер перетворює в машинних кодах з системи Simatрон E4.2 в коди системи HEIDENHAIN. При цьому автоматично створюється робоча керуюча програма для обробляючого центру моделі MCV 1270 (рис. 4, б). Цехове верстатне управління HEIDENHAIN TNC має діалогові і ISC формати. Керуюча робоча програма обробки легко записується на жорсткий диск верстатного комп'ютера і доступна для оператора верстата, що дає змогу ефективно проводити налагодження і підготовку верстата до механічної обробки. Інтерактивна графіка дає змогу демонструвати індивідуальні кроки для програмування контура обробки деталі.

Час проектування і конструювання 3-D моделі та створення керуючої програми, а також налагодження верстату складає близько трьох робочих днів. Повна автоматизація отримання керуючої робочої програми усунула усі проблеми, властиві для традиційної технології проектування, конструювання і виготовлення шарошок бурових доліт.

Для проведення фрезерування зубів шарошки (рис. 5) виготовляється калібрована заго-



а – вказування нульової точки стола верстату і висоти пристрою;  
 б – фрагмент (початок) створеної керуючої програми для обробляючого центру  
**Рисунок 4 – Етапи створення робочої керуючої програми для обробляючого центру**



а – калібрована заготовка шарошки; б – перший цикл фрезерування зубів шарошки;  
 в – вигляд готового фрезерованого оснащення шарошки

**Рисунок 5 – Загальний вигляд заготовки перед обробкою та заготовка під час першого циклу фрезерування зубів і готової шарошки № 2 долота 311,1 МС-ЦГВУ-D94М-1**

товка, конструкція якої відповідає спроектованій в середовищі Сimatron E4.2. 3-D моделі цієї заготовки.

При переході на виготовлення шарошок долота 311,1 МС-ЦГВУ-D94М-1 із застосуванням комп'ютеризованої технології, що реалізується в технологічному процесі механічною обробкою на обробляючому центрі MCV 1270 (потужність 55 кВт), дало змогу заощадити енергозабезпечення восьми операцій, що проводились щонайменше на восьми верстатах (три верстати моделі ГФ 1611 (потужність кожного 16 кВт), два верстати моделі ГФ 1629 (потужність кожного 16 кВт), два верстати моделі ЄЗС 110 (потужність кожного 20 кВт) та одного верстату моделі 6Н82 (потужність 13 кВт)). При виготовленні шарошок доліт 393,7 М-ЦГВУ один обробляючий центр MCV 1270 дав змогу вивільнити 13 операцій, що реалізовувалися згідно зі старою технологією на таких верстатах.

Залежно від типорозміру шарошки та складності породоруйнуючого оснащення час обробки на обробляючому центрі MCV 1270 складає від 30 хв. до 1,5 год. Так, згідно зі старою технологією обробки шарошок долота 393,7 М-ЦГВУ: для обробки шарошки № 1 затрачалося 4 год 40 хв, шарошки № 2 – 2 год 46 хв, а № 3 – 2 год 36 хв. Аналогічні операції з застосуванням нової технології здійснюються за 1 год 12 хв, 1 год 15 хв і 1 хв 10 хв відповідно для обробки шарошок № 1, 2, 3, що дало змогу пришвидшити процес у 2,1 – 3,9 разів. Необхідно зауважити, за старою технологією було неможливо виконати породоруйнуюче оснащення шарошок зі змінним кроком зубів та їх зміщення по вінцях шарошок, що є необхідною конструктивною відмінністю сучасних конструкцій шарошкових бурових доліт.

Реалізація концепції енергоощадності, яка ґрунтується на принципі об'єднання процесів проектування, конструювання і виготовлення при створенні бурових доліт в єдину комп'юте-

ризовану систему дало змогу мобільно освоювати і виготовляти нові конструкції і типорозміри доліт. Впровадження дало змогу збільшити номенклатуру випуску від 20 до 230 типів конструкцій шарошkových доліт, а також розширити діапазон типорозмірів доліт від Ø 74,6 мм до Ø 490 мм. Завдяки процесному підходу і можливості забезпечення жорсткого контролю якості на всіх стадіях процесу створення доліт вдалося підвищити їхні техніко-економічні показники до рівня показників доліт провідних виробників Америки і Китаю.

Реалізація концепції енергоощадності, що ґрунтується на принципі процесного підходу, дозволила забезпечити тенденцію до зниження споживання енергії, яка витрачається на виготовлення одного шарошкового долота. Зокрема, якщо в 2001 році такі затрати склали 874,5 кВт год, то в 2005 році вони становили 805,4 кВт год, в 2006 році – 778,7 кВт год, у 2007 році – 674,3 кВт год. За перші три місяці 2009 року затрати на виготовлення долота склали 609,4 кВт год. Відповідно суттєво зросли показники по продуктивності праці на одного працюючого від 586 нормогодин в 2004 році до 725 нормогодин у 2007 році.

Застосування процесного підходу забезпечує неперервний комплексний контроль над зв'язками окремих процесів у межах єдиної системи автоматизованих процесів, а також над їхніми взаємозв'язками в єдиному інформаційному комп'ютеризованому середовищі. Це уможливило повною мірою використовувати високі потужності банків даних типових процесів, які щораз поповнюються. Також забезпечується зростання рівня конструкторської стандартизації та уніфікації. Об'єднання складних технологічних операцій механічної обробки за один автоматизований процес усунуло проблеми транспортування напівфабрикатів та вивільнити виробничі площі для ефективного їх використання. Комп'ютеризація і автоматизація процесного підходу уможливило не лише поліпшення і оптимізацію алгоритмів, на основі яких будуються процеси, але й вирішення проблеми економії матеріалів, енергоносіїв та підвищення продуктивності праці і якості продукції. Відповідно відкриваються можливості щодо здійснення заходів зі сталого поліпшення показників функціонування процесів завдяки постійному оновленню і вдосконаленню програмних продуктів та ресурсних засобів, а також верстатів з ЧПК, що забезпечить високу гнучкість в освоєнні і створенні нових конструкцій доліт.

Отже, в роботі запропоновано єдиний комплексний підхід до проектування, конструювання та виготовлення шарошkových бурових доліт. Він ґрунтується на концепції комп'ютеризації та автоматизації процесів створення деталей доліт, що забезпечує підвищення якості, продуктивності праці і енергоощадності, а також відрізняється процесним підходом, який реалізується завдяки тому, що на етапі автоматизованого проектування і конструювання деталей бурових доліт закладаються основи для

проектування технологічних процесів виготовлення та реалізації цих процесів в одному комп'ютеризованому технологічному середовищі.

Надалі перспективним є дослідження можливості енергоощадності завдяки вдосконаленню та підвищенню якості технології хіміко-термічної обробки деталей шарошкового долота.

### Література

- 1 Підвищення працездатності пари тертя „упорний торець бурта лапи – упорний торець шарошки” в тришарошkových 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.
- 2 Драганчук О.Т. Науково-методологічні основи конструювання озброєння шарошkových доліт: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора. техн. наук: спец. 05.05.12. „Машини нафтової і газової промисловості” / О. Т. Драганчук. – Івано-Франківськ, 1999. – 36 с.
- 3 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.
- 4 Неупокоев В.Г. Вопросы теории и практики проектирования, производства и эксплуатации буровых шарошковых долот / В. Г. Неупокоев. – Самара: Издательство Самарского научного центра Российской академии наук, 2000. – 376 с.
- 5 Системи управління якістю. Вимоги: ДСТУ ISO 9001–2001. [Чинний від 2001–01–01]. – К.: Держстандарт України, 2001. – 23 с. (Національний стандарт України).
- 6 Никифоров А. Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения: учеб. пособие для вузов / Никифоров А. Д. – М.: Высшая школа, 2006. – 392 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
26.03.10  
Рекомендована до друку професором  
Я. А. Крилем*