

УДК 621.9.02:004.9

**В.А. Пасічник, професор, д-р техн. наук,**

**В.М. Юхимчук, аспірант**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,*

*пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056*

*itm@kpi.ua*

## **ІНФОРМАЦІЙНІ ЗВ'ЯЗКИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ САПР**

## **ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА**

*В статті показані можливості побудови формалізованих інформаційних взаємозв'язків між математичною моделлю виробу та системою інструментального забезпечення. Розглядається задача синтезу інструментального забезпечення та вибору варіанту технологічного процесу оброблення відповідно до визначених елементарних оброблюваних поверхонь та їх параметрів якості.*

**Ключові слова:** *інструментальне забезпечення, різальний інструмент, система автоматизованого проектування, машинобудівне виробництво, інформаційні зв'язки.*

Сучасний напрям розвитку машинобудування пов'язаний зі створенням комп'ютерно-інтегрованого виробництва шляхом комплексної автоматизації процесів виробництва виробу на всьому етапі його життєвого циклу.

Одною з головних задач проектування технологічних процесів оброблення є вибір інструментального забезпечення, що забезпечить виготовлення заданої партії виробів з необхідними параметрами якості, а також буде спрямований на зниження собівартості виготовлення виробів. Автоматизація цього вибору дозволить скоротити терміни технологічного підготовки виробництва.

Актуальність вибору оптимального (за критерієм найнижчої собівартості виготовлення виробу) інструментального забезпечення є складною задачею і пов'язана з такими факторами: одночасна присутність широкої номенклатури типорозмірів різального інструменту та комбінованих РІ широкого застосування від різних виробників; відсутність у САПР ТП математичного апарату вибору інструментального забезпечення з врахуванням особливостей конструкції виробу та експлуатаційними можливостями самого інструменту; необхідність розроблення методів реальної економічної оцінки використання інструментального забезпечення в процесі механічної оброблення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На сьогоднішній час інструментальні компанії пропонують необхідну інформацію про свій різальний інструмент та режими різання у вигляді текстових каталогів та онлайн-каталогів, доступ до яких забезпечується мережею Інтернет. Так в роботі [1] проаналізовані найпоширеніші форми представлення каталогів: текстові каталоги у форматі PDF, HTML-каталоги, FTP-каталоги. Про переваги і недоліки кожного можна говорити лише з точки зору користування ними людиною. У загальному ж ручний вибір по цим каталогам не є ефективним і має ряд вагомих недоліків: високу трудомісткість, високу ймовірність помилкового вибору та необхідність орієнтуватися в великій кількості каталогів інструментального забезпечення і їх структурі.

Також існують і більш прогресивні засоби, зокрема, програмне забезпечення для ПК та онлайн-каталоги у вигляді веб-застосунків. Наприклад, компанія *Seco Tools* пропонує програмне забезпечення (ПЗ) *Secocut*, що здатне надавати рекомендації по режимам різання вибраними інструментами, містить бібліотеку матеріалів, розраховує шорсткість поверхні та ін. Крім того, компанія пропонує конкретне ПЗ для окремих областей оброблення: фрезерування - додаток для підбору різних комбінацій хвостовиків і головок *Minimaster*, додаток для пошуку і вибору фрез *TURBO* та ін.; точіння - токарний калькулятор *Secolor* для розрахунку режимів різання, програма для підбору інструменту при обробленні торцевих канавок та ін. Компанія *Sandvik Coromant* пропонує онлайн-каталог *CoroGuide*, що реалізує пошук інструменту по області застосування, відображає його ескізи та містить веб-додаток по розрахунку режимів різання. Інструментальна компанія *Hoffmann Group* надає доступ до свого онлайн-каталогу *CarantToolscout*, який орієнтований на пошук суцільного і збірного інструменту, пошук і порівняння режимів різання, містить обширну базу даних конструкційних матеріалів та здатний порівнювати вартість інструменту.

САПР ТП *Omega Production* реалізована на основі алгоритмізації методик ручного вибору інструментів по інструментальним каталогам та теж потребує участі людини на кожному етапі вибору інструменту. Експертна система *OPTIS* здатна визначати режими різання для різних варіантів оброблення та визначати оптимальні режими з точки зору мінімальної вартості виготовлення виробу та враховуючи при цьому задані технологічні обмеження процесу [1].

Незважаючи на деяку ступінь автоматизації по розрахунку режимів різання, майже вся вищезгадані системи потребують ручного вибору різального інструменту з бази даних що підкреслює недосконалість цих систем.

У роботі [2] узагальнені недоліки сучасних САПР, зокрема в області автоматизованого вибору різального інструменту та пропонується розвиток концепції автоматизованого розпізнавання конструктивних елементів деталі з цілю автоматичної побудови не типових, а оптимальних технологічних процесів. Такий підхід дозволяє САПР працювати безпосередньо з 3D-моделлю виробу але потребує складання класифікації великої кількості конструктивних елементів та опису їх умовних ознак. Представлена програмна реалізація у вигляді *САПР ТПП ЧПУ* (що інтегрується з *САПР КОМПАС 3D*) для автоматизованого проектування ТП оброблення точних отворів на багатоопераційних станках з ЧПУ, вибрати інструментальне забезпечення з бази даних, проектувати карту налагодження верстата. До недоліків можна віднести необхідність ручного введення геометрії отвору.

У роботі [3] запропоновані підходи до розробки автоматизованих систем для вибору інструментальної (вибір варіанту PI) та кінематичної (визначення варіанту схеми різання) стратегій оброблення окремого конструкторсько-технологічного елемента на основі багатофакторної оптимізації.

Аналіз показує що питання автоматизованого вибору інструментального забезпечення в рамках складання ТП оброблення має вирішуватися більш повною формалізованим описом вхідних даних та має доповнюватися розробкою оптимальних алгоритмів вибору з метою мінімізації собівартості виготовлення готового виробу.

**Основна частина.** В тривимірних системах геометричного моделювання (*CATIA, ProEngineer*) широко використовується логіко-алгебраїчна мова опису виробів, якій властивий високий рівень абстрагування, що дозволяє виявляти всі геометричні властивості елементів деталі (елементарні поверхні, осі поверхонь обертання та ін.), необхідні як початкові дані для проектування технологічного процесу (ТП). Зручність такого опису полягає в тому, що примітиви співпадають з об'єктами оброблення.

В цьому випадку геометрична модель деталі може бути представлена в такому вигляді [4]:

$$\begin{aligned} M_G &= \langle S, R \rangle \\ S &= \{S^n\} \\ R &= \{R_1^{(k_1)}, \dots, R_n^{(k_n)}\} \end{aligned} \quad (1)$$

де  $S$  - множина поверхонь, що обмежують деталь;  $R$  - множина відношень на між елементами  $S$ ;  $k_n$  - степені відношень:  $k_1 = 1$  - унарні відношення, що описують властивості елемента,  $k_i = 2$  - бінарні відношення між двома елементами,  $k_i = 3$  - тернарні відношення між трьома елементами,  $k_i = n$  -  $n$ -арні відношення між  $n$  елементами.

Для виробів середньої та високої складності їх логіко-алгебраїчне представлення стає занадто громіздким, тому зручно вводити проміжні просторові елементи - базові елементи форми, які попередньо формуються із вихідного набору поверхонь. В цьому випадку деталь будеться з просторових елементів - паралелепіпедів, циліндрів, зрізаних конусів, сфер, торів, пірамід, призм та ін., кожен з яких характеризується геометричними параметрами та параметрами розташування.

Модель представлення логіко-алгебраїчного типу дозволяє автоматизувати процес передачі геометричної інформації від одного етапу проектування до іншого, а також встановлювати зворотні зв'язки від більш пізніх етапів проектування до ранніх. Така модель деталі дозволяє визначити необхідні властивості поверхонь, потрібні для проектування технологічного процесу механічного оброблення, а також всі геометричні властивості заготовки, необхідні для створення управляючої програми для системи ЧПК.

Поверхня деталі  $S_P$  формується або в результаті додавання до поверхонь заготовки  $S_W^i$  нових поверхонь, утворених в результаті технологічного впливу  $S_{PR}^i$  (рисунок 1, а), або шляхом віднімання декількох поверхонь заготовки  $S_W^i$  і заміну їх на оброблювану поверхню  $S_{PR}^i$  (рисунок 1, б).

На етапі технологічного підготовки виробництва не обов'язково у якості вихідної моделі приймати математичну модель заготовки, а використовувати 3D-модель деталі, створену в сучасній САД-системі.

Формування поверхонь готової деталі можна розглядати як процес перетворення множин вихідних поверхонь заготовки  $\{S_W\}$  у множину поверхонь деталі  $\{S_P\}$  під дією технологічного впливу,  $PR$  що формує множину оброблюваних поверхонь  $\{S_{PR}\}$  (рисунок 2).

Множина оброблюваних поверхонь, відповідно (1), може бути знайдена:

$$S_{PR} - S_W \Rightarrow S_{PR}$$

$$S_W = \{S_W^1, S_W^2, \dots, S_W^n\} \quad (2)$$

$$S_{PR} = \{S_{PR}^1, S_{PR}^2, \dots, S_{PR}^n\}.$$

де  $S_W$  – множина поверхонь заготовки;  $S_P$  – множина поверхонь обробленої деталі;  $S_{PR}$  – множина поверхонь, утворених внаслідок технологічного впливу.

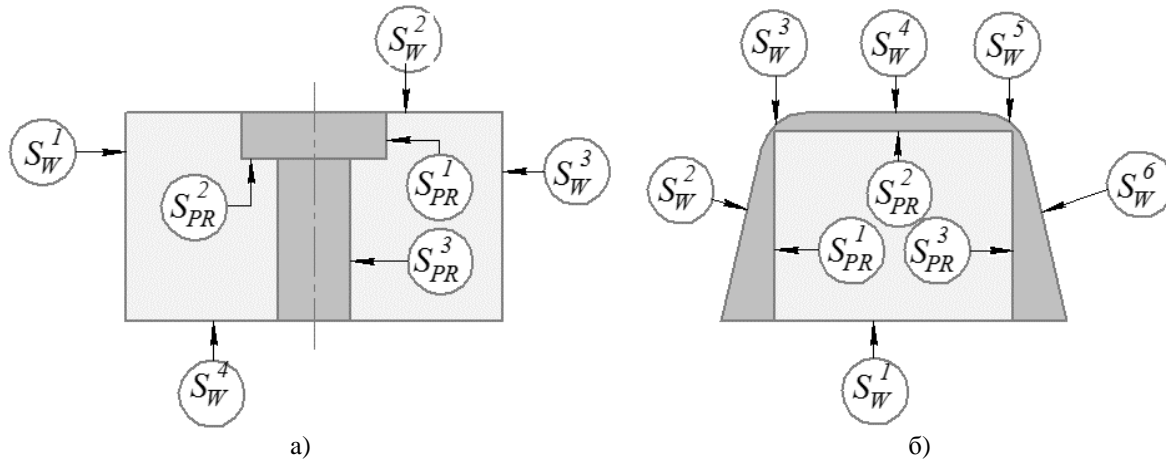


Рисунок 1 – Схеми утворення поверхонь деталі.

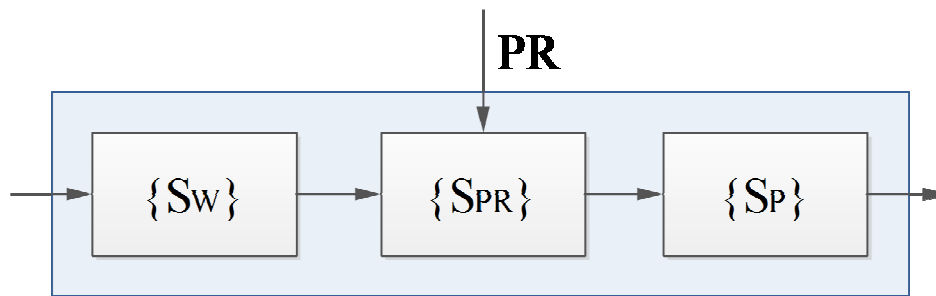


Рисунок 2 – Схема отримання поверхонь деталі.

Модель (2) потрібно трансформувати у технологічну модель у вигляді множини оброблюваних поверхонь, їх властивостей та відношень. Ці відношення можна розділити на унарні, тобто такі, що описують властивості самої поверхні без зв'язку з іншими та бінарні, тобто такі, що зв'язують відношеннями дві поверхні (таблиця 1).

Вирішення задачі синтезу інструментального забезпечення для реалізації технологічного впливу та автоматизації вирішення цієї задачі потребує, по-перше, ідентифікації поверхонь деталі, які мають оброблятися, а також отримання всієї інформації про якість таких поверхонь (множину відношень  $R$ ). Оброблювані поверхні  $S_{PR}$ , що утворюються внаслідок технологічного впливу  $PR$ , можна отримати, аналізуючи 3D модель деталі та порівнюючи показники якості поверхонь з показниками, які можуть бути отримані з методом отримання заготовки, застосованим в конкретному випадку.

Значну кількість параметрів якості оброблюваних поверхонь сьогодні можна отримати безпосередньо з тривимірної моделі виробу, побудованої в CAD-системі. Така можливість вказання атрибутів якості поверхонь реалізована в таких потужних CAD-системах, як SolidWorks, CATIA, ProEngineer, російської САПР КОМПАС та інших. Це стало можливим завдяки розвитку «безпаперових» концепцій наскрізного проектування та PDM-систем (*Product Data Management*) – систем управління даними про виробу. Згідно стандарту опису електронних моделей виробів ISO 16792:2006 Technical product documentation – Digital product definition data practices, електронна модель виробу представляється у вигляді сукупності геометричних даних, атрибутів і технічних вимог. Даний стандарт дозволяє вказувати на моделі допуски розмірів, технологічні бази, допуски форми і розташування поверхонь, параметри шорсткості та інші у вигляді текстових анотацій.

Синтез множини переходів оброблення ЕП. На етапі синтезу технологічних переходів функція мети повинна бути мінімізація витрат на технологічне та інструментальне забезпечення. Даний критерій повинен бути комплексний, та враховувати вартість окремих видів інструментального забезпечення, його

період стійкості, ризику виходу з ладу, можливість синтезу інструменту, якого немає в базі даних, якщо це є рентабельно для даної партії деталей. Основою для цього повинна бути множина технологічних методів оброблення, що забезпечують необхідні параметри якості поверхонь деталі. Для отримання технологічних методів оброблення  $PM$  кожної поверхні  $S_{PR}^i$  потрібно сформувати матриці унарних (характеристика якості для даного методу оброблення) та бінарних відношень (зв'язок заданої оброблюваної поверхні та технологічного методу). Формально дані відношення можна представити у вигляді булевих функцій двох змінних:












$$f_1(m, q) = \begin{cases} 1, \text{ якщо метод } m \text{ забезпечує якість } q, q = q_{\min} \dots q_{\max} \\ 0, \text{ якщо не забезпечує} \end{cases}$$

$$f_2(m, S_{PR}) = \begin{cases} 1, \text{ якщо для оброблення поверхні } S_{PR} \text{ використовується метод } m \\ 0, \text{ якщо не використовується} \end{cases} \quad (3)$$

Сукупність технологічних переходів оброблення, що реалізують методи (3) поверхонь можна представити:

$$PM = \{m; f_1(m, q) = 1; f_2(m, S_{PR}) = 1\} \quad (4)$$

Таблиця 1 – Множина  $R$  відношень, що відображають параметри якості поверхонь

Відношення	Позначення	Параметр	
<b>Унарні відношення</b> $R_i^{(1)}$ Описують властивості поверхонь	$R_1^{(1)}$	$Ra, Rz$	Шорсткість поверхні
	$R_2^{(1)}$	$H, h$	Точність (квалітет)
	$R_3^{(1)}$	$h_d$	Глибина дефектного шару
	$R_4^{(1)}$	HRC, HB, HV	Твердість
	Параметри точності форми поверхонь:		
	$R_5^{(1)}$		прямолінійності
	$R_6^{(1)}$		площинності
	$R_7^{(1)}$		циліндричності
	$R_8^{(1)}$		круглості
	$R_9^{(1)}$		профіля поздовжнього перерізу
<b>Бінарні відношення</b> $R_i^{(2)}$ Описують параметри точності відносного розташування поверхонь	Параметри точності відносного розташування поверхонь:		
	$R_1^{(2)}$		паралельності
	$R_2^{(2)}$		перпендикулярності
	$R_3^{(2)}$		нахилу
	$R_4^{(2)}$		співвісності
	$R_5^{(2)}$		симетричності
	$R_6^{(2)}$		перетину осей

Аналіз можливості суміщення виконання технологічних переходів (4) в одній технологічній операції. За рахунок використання багатоінструментального оброблення, комбінованого та фасонного інструментального оснащення можливе об'єднання технологічних переходів для будь-якої їх послідовності  $v_{ij} \dots v_{mn}$ . Формалізований запис може бути представлений у вигляді матриці:

$$T^U = [t_{s_{k,l}}^U \in \{0,1\}], k, l \in S \quad (5)$$

де  $t_{s_{k,l}}^U = 1$ , якщо технологічні переходи  $k$  і  $l$  можуть бути суміщені і  $t_{s_{k,l}}^U = 0$  при неможливості суміщення.

Для множини технологічних переходів з використанням осьового різального інструменту матриця сумісності може мати вигляд, представлений на рисунку 3.

	Свердління	Зенкерування	Розгортання	Нарізання різьби	Розкатування	Розточування	Зенкування
Свердління	1	1	1	1	1	1	1
Зенкерування	1	1	1	1	1	0	0
Розгортання	1	1	1	1	1	0	0
Нарізання різьби	1	1	1	1	0	0	0
Розкатування	1	1	1	0	1	1	0
Розточування	1	0	0	0	1	1	0
Зенкування	1	0	0	0	0	0	1

Рисунок 3 – Матриця сумісності технологічних переходів з використанням осьового РІ

**Висновки.** Підвищення ефективності машинобудівного виробництва потребує всебічного розвитку математичних моделей та поглиблення розуміння інформаційних зв'язків всіх етапів та складових елементів систем підтримки життєвого циклу виробів. Розвиток систем інструментального забезпечення не повною мірою відповідає вимогам сучасного машинобудування, а його розвиток ми вбачаємо у поглибленні інтеграції з етапом проектування виробу й технологій його виготовлення. Такий розвиток передбачає поділ множини поверхонь деталі та заготовки з виділенням множини поверхонь, що утворилися в результаті технологічного впливу.

Показано, що урахування вимог до якості поверхні може бути реалізовано через множини унарних та бінарних відношень, що охоплюють усі необхідні параметри та можуть бути інтегровані в інформаційну систему інструментального забезпечення. Це дозволяє автоматизувати вибір технологічних переходів, що можуть використовуватись для оброблення та вирішувати задачі суміщення технологічних переходів і, як наслідок, синтезу комбінованого різального інструменту.

#### **Бібліографічний список використаної літератури**

1. Mursec V. Use of electronic catalogues for planning of machining processes / V. Mursec, F. Cus // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, — 2006. — Vol. 19, No. 1. — P. 65–74.
2. Mikhalev O.N. Perfections of the automated systems of machine-building manufactures / O.N. Mikhalev, A.S. Yanyushkin // Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies. — 2010. — № 3. — С. 15 – 27.
3. Аверченков А.В. Автоматизация выбора стратегий обработки конструкторско-технологических элементов деталей в технологической подготовке производства изделий / А.В. Аверченков // Вестник УГАТУ. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами. — 2012. — № 3 (48). — С. 76 – 80.
4. Кузьмин В.В. Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения [Текст] / В.В. Кузьмин, А.Г. Схиртладзе. — М.: Высшая школа, 2008. — 279 с. :ил.

*Надійшла до редакції 24.03.2013 р.*

**Пасечник В.А., Юхимчук В.Н. Информационные связи для реализации САПР инструментального обеспечения машиностроительного производства**

В статье показаны возможности построения формализованных информационных взаимосвязей между математической моделью изделия и системой инструментального обеспечения. Рассматривается задача синтеза инструментального обеспечения и выбора варианта технологического процесса обработки в соответствии с определенными элементарных обрабатываемых поверхностей и их параметров качества.

**Ключевые слова:** инструментальное обеспечение, режущий инструмент, система автоматизированного проектирования, машиностроительное производство, информационные связи.

**Pasichnyk V.A., Yukhimchuk V.M. Information communication for the implementation of tool management CAPP in engineering production**

The article shows the possibility of building a formalized information linkages between the mathematical model of the product and tool management system. Analyzed the problem of synthesis of tooling and selection of variant processing in accordance with elementary machined surfaces and their quality parameters.

**Keywords:** tool management, cutting tools, CAD, engineering manufacturing, information communication.