

УДК 004.925.8:621.9.02

П.М. ЯБЛОНСЬКИЙ

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДЕЯКІ ПИТАННЯ УЗАГАЛЬНЕННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Дану публікацію присвячено подальшому розвитку тематики наукової школи прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» в напрямку вдосконалення наявних підходів щодо моделювання різноманітних технічних об'єктів, процесів їх виготовлення та експлуатації. Основний акцент робиться на створення узагальненої інтегрованої комплексної методології автоматизованого формоутворення. Для успішного вирішення окресленої проблеми потрібно розв'язати цілий ряд взаємопов'язаних теоретичних і практичних задач різноманітного плану. Це дозволить суттєво підвищити ефективність комп'ютерної підтримки всього життєвого циклу складної промислової продукції, який включає етапи її проектування, виробництва та експлуатації. Наведене твердження стосується також і відповідних стадій науково-дослідних та проектно-конструкторських робіт, технологічної підготовки й безпосередньо виготовлення продукції, її функціонування та утилізації. У статті викладено основні положення запропонованого способу узагальненого контуру, який проілюстровано на прикладі групи різальних інструментів, подано методика застосування запропонованого способу узагальненого контуру, описано деякі практичні прийоми, зокрема, введення додаткових параметрів, перетворення та виродження елементів узагальненого контуру, компактності геометричних параметрів, широкого охоплення номенклатури опрацьовуваних виробів, універсального характеру використовуваного математичного апарату і т. д. Подана методика комп'ютерного геометричного моделювання доволі універсальна, тобто може бути застосована для опрацювання різноманітних технічних об'єктів. При цьому забезпечується високий рівень продуктивності виконуваних робіт. Проаналізований підхід варто розглядати як складову частину створюваної інтегрованої комплексної методології автоматизованої інформаційної підтримки життєвого циклу складної промислової продукції. У публікації окреслено деякі перспективи проведення подальших відповідних наукових досліджень та їх упровадження у практику.

Ключові слова: геометричне моделювання, інтегрована комплексна методологія, структурно-параметричне формоутворення, різальний інструмент, спосіб узагальненого контуру, технічні об'єкти.

П.Н. ЯБЛОНСКИЙ

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБОБЩЕНИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Данная публикация посвящена дальнейшему развитию тематики научной школы прикладной геометрии Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» в направлении совершенствования имеющихся подходов к моделированию различных технических объектов, процессов их изготовления и эксплуатации. Основной акцент делается на создание обобщенной интегрированной комплексной методологии автоматизированного формообразования. Для успешного преодоления указанной проблемы нужно решить целый ряд взаимосвязанных теоретических и практических задач различного плана. Это позволит существенно повысить эффективность компьютерной поддержки всего жизненного цикла сложной промышленной продукции, который включает этапы ее проектирования, производства и эксплуатации. Приведенное утверждение касается и соответствующих стадий научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ, технологической подготовки и непосредственно изготовления продукции, ее функционирования и утилизации. В статье изложены основные положения предложенного способа обобщенного контура, который проиллюстрирован на примере группы режущих инструментов, представлена методика применения предложенного способа обобщенного контура, описаны некоторые практические приемы, в частности, введение дополнительных параметров, преобразование и вырождение элементов обобщенного контура, компактности геометрических параметров, широкого охвата номенклатуры обрабатываемых изделий, универсального характера используемого математического аппарата и т. д. Приведенная методика компьютерного геометрического моделирования является довольно универсальной, то есть может быть применена для различных технических объектов. При этом обеспечивается высокий уровень производительности выполняемых

работ. Проанализированный подход следует рассматривать как составную часть создаваемой интегрированной комплексной методологии автоматизированной информационной поддержки жизненного цикла сложной промышленной продукции. В данной публикации обозначены некоторые перспективы проведения дальнейших соответствующих научных исследований и их внедрения в практику.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, интегрированная комплексная методология, структурно-параметрическое формообразование, режущий инструмент, способ обобщенного контура, технические объекты.

P.M. YABLONSKYI

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

SOME QUESTIONS OF THE GENERALIZATION OF FORMING THE CUTTING TOOLS

This publication is devoted to the further development of the topics of the scientific school of applied geometry of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" in the direction of improving the existing approaches to modeling various technical objects, processes of their production and exploitation. The main emphasis is placed on the creation of a generalized integrated methodology of automated shaping. To successfully overcome this problem, it is necessary to solve a number of interrelated theoretical and practical tasks of a various plan. This will significantly improve the efficiency of computer support for the entire life cycle of complex industrial products, which includes the stages of its design, production and operation. The above statement applies to the relevant stages of research and design, technological preparation and the direct manufacture of products, their operation and disposal. The article describes the main provisions of the proposed method of generalized contour, which is illustrated by the example of a group of cutting tools, the method of application of the proposed method of the generalized circuit is described, some practical methods are described, in particular, introduction of additional parameters, transformation and degeneration of elements of a generalized circuit, compactness of geometric parameters, wide coverage nomenclature of processed products, universal character of the used mathematical apparatus, etc. The presented method of computer geometric modeling is rather universal, that is, it can be applied to the processing of various technical objects. This ensures a high level of productivity of work. The analyzed approach should be considered as a component of the created generalized integrated complex methodology of automated information support for the life cycle of industrial products. This publication outlines some perspectives for further relevant scientific research and their implementation in practice.

Keywords: geometrical modeling, integrated complex methodology, structural-parametric shaping, cutting tools, method of generalized contour, technical objects.

Постановка проблеми

Створення та використання сучасних технічних об'єктів характеризується широким застосуванням комп'ютерних інформаційних систем. Це стосується всіх етапів життєвого циклу промислової продукції, тобто її проектування, виготовлення та експлуатації. З метою отримання високоефективних характеристик зазначених виробів в аспекті різноманітних дисциплін (конструкції, міцності, технології, надійності, економічності, екологічності і т. д.) актуальним є питання проведення їх комплексної оптимізації протягом усього життєвого циклу.

Роль узгоджувальної та інтегруючої основи для багатьох математичних і комп'ютерних моделей опрацьовуваної промислової продукції на різних етапах і стадіях життєвого циклу об'єктивно виконують її геометричні параметри положення, розмірів та форми. Цей факт підтверджується також і тим, що геометричне моделювання становить базовий компонент систем CAD/CAM/CAE (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing/ Computer-Aided Engineering). Тому проблема удосконалення засобів комп'ютерного формоутворення на нинішньому етапі розвитку суспільства доволі актуальна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Перспективи сучасних досліджень наукової школи прикладної геометрії КПІ ім. Ігоря Сікорського розглянуто в публікації [1]. Один із таких напрямків полягає в подальшому розвитку методології структурно-параметричного геометричного моделювання, основні положення якого викладено в роботі [2]. Стосовно інтеграції різноманітних етапів і стадій життєвого циклу технічних об'єктів особливо важливі задачі комп'ютерного динамічного структурно-параметричного формоутворення. Зазначений підхід забезпечує відповідну комплексну оптимізацію промислових виробів. Але, для успішної її реалізації потрібно мати узагальнені, тобто застосовувані для широкого кола об'єктів, геометричні моделі. У працях [3, 4] проаналізовано динамічне моделювання процесів свердління і фрезерування за допомогою різального інструмента певної конкретної форми. У даній статті

описано запропонований спосіб узагальненого контуру, який проілюстровано належним параметричним комп'ютерним формоутворенням цілої групи різальних інструментів, поданих у монографії [5].

Мета дослідження

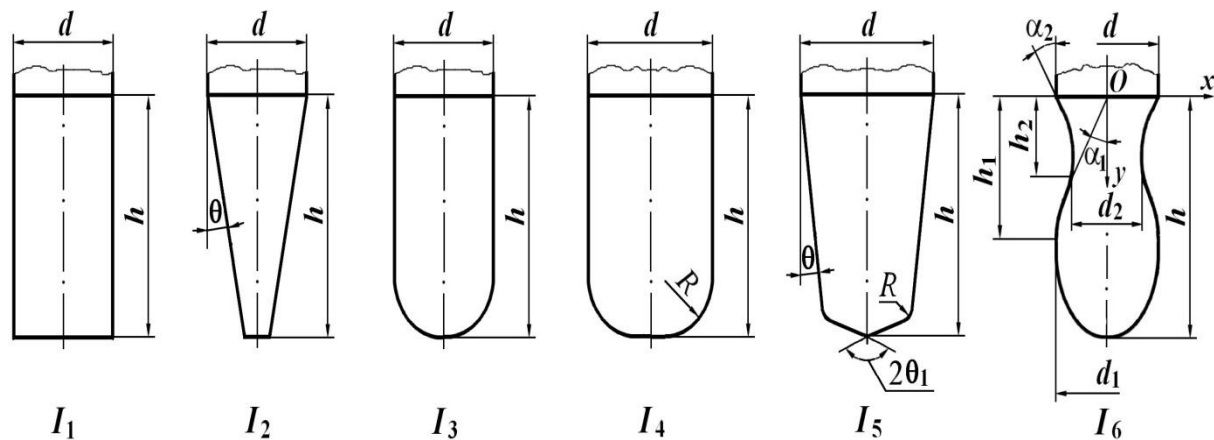
Головне завдання публікації полягає у викладенні методики використання розробленого способу узагальненого контуру на прикладі геометричного моделювання групи різальних інструментів. При цьому важливим є висвітлення переваг запропонованого підходу щодо універсальності для визначення багатьох технічних об'єктів та забезпечення високої ефективності їх комп'ютерного структурно-параметричного формоутворення. Зазначені особливості дозволяють успішно реалізувати на практиці необхідні компоненти створюваної інтегрованої комплексної методології геометричного моделювання різноманітних технічних об'єктів у середовищі сучасних систем CAD/CAM/CAE, чим підвищувати ефективність останніх.

Викладення основного матеріалу дослідження

У праці [3] для комп'ютерного подання процесу свердління викладено методику, яка включає наступні три етапи: розробку твердотільної моделі різального інструмента; побудову моделі вихідної заготовки; динамічне відтворення допоміжних і робочих ходів технологічного процесу. Було запропоновано додаткове використання спрощеної геометричної моделі свердла, невидимої при формоутворенні, що є комбінацією прямого кругового циліндра та конуса належних розмірів. Зазначена модель охоплює частину простору, яку займає свердло при своєму обертанні. Таким чином, наданням потрібного руху свердлу та булевими операціями віднімання від об'єму заготовки частини простору, який у часі займає спрощена геометрична модель різального інструмента, отримували комп'ютерне динамічне відтворення процесу свердління.

У роботі [4] виконано подальше узагальнення описаних прийомів поширенням їх на процеси фрезерування. Наведено визначення таких термінів як динамічна область інструмента, тобто частина простору, яку охоплює інструмент під час свого руху, та динамічна область заготовки, тобто частина простору, яку охоплює заготовка в певний момент часу свого оброблення.

Вище зазначалось, що головна мета даної статті полягає в описі використання розробленого способу узагальненого контуру. Виконаємо це на прикладі геометричного моделювання групи різальних інструментів (рис. 1), поданих у праці [5].



**Рис. 1. Різальний інструмент для оброблення складних поверхонь деталей на багатокоординатних станках із числовим програмним керуванням:
 I_1 – циліндричний; I_2 – конічний; I_3 – зі сферичною головкою;
 I_4 – з тороїдальною робочою частиною; I_5 – АРТ; I_6 – фасонний**

Динамічні області наведених інструментів є тілами обертання, векторні параметричні рівняння яких у декартовій системі координат $Oxyz$ мають вигляд

$$\mathbf{r}(u, v, w) = (x, y, z) = (w r_x(u) \cos v, r_y(u), w r_x(u) \sin v), \quad (1)$$

де $\mathbf{r}(u, v, w)$ – радіус-вектор точок фігури;

$u \in [0, 1]$, $v \in [0, 2\pi]$, $w \in [0, 1]$ – параметри;

$r_x(u)$, $r_y(u)$ – абсциса та ордината твірної лінії $\mathbf{r}(u)$.

З точки зору структурно-параметричного формоутворення показані на рис. 1 та визначені залежностями (1) інструменти подаються відповідною геометричною моделлю на основі наступної множини:

$$I = (I_i)_1^6. \quad (2)$$

У даному випадку недоліком є те, що для схожих технічних об'єктів застосовуються шість різних комп'ютерних твердотільних моделей. Покажемо як цього можна уникати шляхом використання запропонованого способу узагальненого контуру.

З наведеного матеріалу видно, що в якості твірної для формування різальних інструментів (2) вжито симетричну відносно осі обертання Oy половину обводу, який визначає ці фігури. Виконаємо деякий аналіз цих ліній у структурно-параметричному аспекті.

Для інструмента I_1 твірна складається з двох розташованих під прямим кутом прямолінійних відрізків. Об'єкт I_2 – це вже більш загальний випадок, оскільки вводиться додатковий параметр θ , що визначає кут між зазначеними відрізками. Поширити ж розглянуту модель на наступний інструмент не вдається, бо до твірної останнього входить дуга кола. Фігура I_4 може бути узагальненням для тіла I_3 , але при цьому треба забезпечити виродження в пусту множину або точку горизонтального прямолінійного відрізка її твірної. Інструмент I_4 є окремим випадком об'єкта I_5 . Фігуру I_6 неможливо подати за допомогою попередньо розглянутих моделей.

Таким чином, один із прийомів способу узагальненого контуру полягає у введенні додаткових параметрів. У наведених прикладах це дозволяє зменшити число геометричних моделей (2) з шести до чотирьох. Для подальшого узагальнення потрібно забезпечити параметричним моделям певні властивості структурних, тобто здатність виродження деяких своїх елементів, перетворення їх в інші (в даному випадку дуг кіл у прямолінійні відрізки) тощо.

Покажемо це на прикладі кривих другого порядку у векторній параметричній формі

$$\mathbf{r}(u) = \frac{(1-u)^2 \mathbf{r}_0 + w_1 2u(1-u) \mathbf{r}_1 + u^2 \mathbf{r}_2}{(1-u)^2 + w_1 2u(1-u) + u^2}, \quad (3)$$

де $\mathbf{r}(u)$ – радіус-вектор точок кривої;

$\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$ – радіус-вектори в декартовій системі координат Oxy вершин характеристичного трикутника;

$w_1 \geq 0$ – ваговий коефіцієнт;

$u \in [0, 1]$ – параметр.

Зауважимо, що крива (3) є відрізком прямої лінії для $w_1=0$, дугою кола з кутовою величиною $0 < \beta < \pi$ при $w_1 = \cos(\beta/2)$ та вироджується в точку за умови $\mathbf{r}_0 = \mathbf{r}_2$. Отже, відповідає розглянутим вище вимогам узагальнення твірної проаналізованого різального інструменту.

За допомогою складеного обводу з трьох таких кривих

$$L = (L_i)_1^3 \quad (4)$$

можна побудувати і твірну інструмента I_6 .

При цьому маємо для

$$L_1: \mathbf{r}_0 = (0, h), \mathbf{r}_1 = (d_1/2, h), \mathbf{r}_2 = (d_1/2, h_1);$$

$$L_2: \mathbf{r}_0 = (d_1/2, h_1), \mathbf{r}_1 = (d_1/2, h_2 + (d_1 - d_2)/2 \operatorname{ctg} \alpha_1), \mathbf{r}_2 = (d_2/2, h_2);$$

$$L_3: \mathbf{r}_0 = (d_2/2, h_2), \mathbf{r}_1 = (c, (d/2 - c) \operatorname{ctg} \alpha_2), \mathbf{r}_2 = (d/2, 0), \quad (5)$$

де $c = (0,5d_2 \operatorname{ctg} \alpha_1 + 0,5d \operatorname{ctg} \alpha_2 - h_2) / (\operatorname{ctg} \alpha_1 + \operatorname{ctg} \alpha_2)$.

Використання співвідношень (3) ... (5) забезпечує гладкість першого порядку узагальненого контуру для фігури I_6 . Наведені залежності дозволяють гнучко керувати такими геометричними параметрами як розташування вузлів стику обводу та дотичних у них, формою складових кривих тощо.

З практичної точки зору та у відповідності до викладеного матеріалу для комп'ютерного формоутворення користувачам замість множини (2) можна залишити наступний кортеж:

$$I = (I_i)_5^6. \quad (6)$$

Перевагою виразу (6) є те, що, по-перше, останній поєднує в моделі I_5 компактність потрібних параметрів та широке охоплення при цьому номенклатури застосовуваного інструменту, а, по-друге, за допомогою моделі I_6 дозволяє конструювати більш складні криволінійні обводи.

Зазначимо, що внутрішню приховану від користувача системи CAD/CAM/CAE організацію моделей (6) доречно реалізовувати за допомогою загальних формул (3) та (4) з визначенням у випадку інструмента I_5 належних параметрів подібно до залежностей (5). Це забезпечує універсальний характер створюваного комп'ютерного програмного забезпечення.

Перспективами розробленого способу узагальненого контуру варто вважати його поширення на інші ніж проаналізовані технічні об'єкти та процеси, використання кривих вищого за другий порядку, наприклад, неоднорідних раціональних B-сплайнів [6] тощо.

Висновки

У даній публікації на прикладі групи різальних інструментів подано методику застосування запропонованого способу узагальненого контуру, описано деякі практичні прийоми, зокрема, введення додаткових параметрів, перетворення та виродження елементів узагальненого контуру, компактності геометричних параметрів, широкого охоплення номенклатури опрацьовуваних виробів, універсального характеру використовуваного математичного апарату і т. д. Це дозволило забезпечити відповідне удосконалення структурно-параметричного геометричного моделювання технічних об'єктів.

Викладений підхід є складовим компонентом узагальненої інтегрованої комплексної методології автоматизованого формування складної промислової продукції, що розробляється науковою школою прикладної геометрії КПІ ім. Ігоря Сікорського. Для успішного досягнення поставленої мети потрібно розв'язати ще цілий ряд взаємопов'язаних теоретичних і практичних задач різноманітного плану, забезпечити їх ефективну інтеграцію. Окреслені питання становлять перспективи проведення подальших наукових досліджень.

Список використаної літератури

1. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Гумен О.М., Юрчук В.П., Яблонський П.М. Сучасний стан і перспективи подальшого розвитку наукової школи прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Прикладні питання математичного моделювання. Херсон, 2018. Вип. 2. С. 17-23. doi: 10.32782/2618-0340-2018-2-17-23.
2. Ванін В.В., Вірченко Г.А. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання. Геометричне та комп'ютерне моделювання. Харків, 2009. Вип. 23. С. 42-48.
3. Вірченко С.Г. До питання автоматизованого динамічного формування об'єктів машинобудування. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». Суми, 2016. Вип. 10/3 (31). С. 31-35.
4. Вірченко С.Г. Деякі аспекти комп'ютерного динамічного геометричного моделювання процесів фрезерування. Сучасні проблеми моделювання. Мелітополь, 2017. Вип. 10. С. 31-35.
5. Радзевич С.П. Формообразование поверхностей деталей (Основы теории): монография. Киев: Растан, 2001. 592 с.
6. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. Москва: Мир, 2001. 604 с.