

ДО ПИТАННЯ УЗАГАЛЬНЕННЯ СТРУКТУРНО- ПАРАМЕТРИЧНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Нинішній етап розвитку наукової школи прикладної геометрії КПІ імені Ігоря Сікорського характеризується, зокрема, розроблянням інтегрованої комплексної методології формоутворення різноманітних технічних об'єктів для підвищення ефективності їх проектування, виготовлення та експлуатації. При цьому особливо важливими є задачі напрацювання належних теоретичних основ, узагальнення відповідних використовуваних способів побудов, удосконалення методичного, інформаційного і програмного забезпечення комп'ютерних систем, практичного впровадження отриманих результатів.

Запропонований школою КПІ імені Ігоря Сікорського структурно-параметричний підхід до геометричного моделювання становить підґрунтя для інтегрованого комплексного автоматизованого формоутворення. Тому подальше покращення зазначеної методології завдяки поліпшенню існуючого математичного апарату, розроблянню нових і вдосконаленню наявних способів, прийомів та алгоритмів є актуальною науково-прикладною проблемою.

У публікації наведено методика узагальнення структурно-параметричних геометричних моделей шляхом застосування до їх елементів циклічних, тобто повторювальних, операцій формоутворення. Поданий інваріантний спосіб проілюстровано на прикладі автоматизованого проектування таких компонентів сільсько-господарських машин як дискові робочі органи ґрунтообробних знарядь. При цьому використано викладену в попередніх працях авторів геометричну класифікацію даних технічних об'єктів, прийоми їх комп'ютерного твердотілого формоутворення, спосіб зменшення області проектних розв'язків та узагальненого контуру.

Таким чином, дослідження, що розглядається, є розвитком наукових здобутків, отриманих на кафедрі нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки КПІ імені Ігоря Сікорського, певним їх теоретичним узагальненням. У статті окреслено перспективи проведення

подальших розвідок у проаналізованому науковому напрямку для напрацювання належної інтегрованої комплексної методології формоутворення багатоманітних технічних об'єктів.

Ключові слова: автоматизоване формоутворення; геометричні моделі; інтегрована комплексна методологія; дискові робочі органи ґрунтообробних знарядь; структурно-параметричний підхід; технічні об'єкти.

Постановка проблеми. У наш час комп'ютерні засоби, завдяки своїй потужності, здатні розв'язувати доволі складні інженерні задачі. Успішна практична реалізація цих можливостей здійснюється відповідним програмним забезпеченням, основою розробляння якого слугують належні теоретичні напрацювання. Вирішення багатьох технічних питань у системах автоматизованого проектування нині важко уявити без широкого використання геометричних моделей. Тому вдосконалення методологічних і математичних засад комп'ютерного формоутворення становить важливу науково-прикладну проблему.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У виданні [1] окреслено перспективи розвитку наукової школи прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Серед них провідне місце займає інтегрована комплексна методологія формоутворення промислових виробів, процесів їх виготовлення та експлуатації. Науковим підґрунтям для цього слугує структурно-параметричне геометричне моделювання [2–3]. Звідси випливає доцільність подальшого покращення останнього.

Цілі та завдання статті. Метою публікації є викладення запропонованого способу узагальнення структурно-параметричних геометричних моделей шляхом застосування до їх елементів циклічних, тобто повторювальних, операцій формоутворення. У цьому полягає актуальність та наукова новизна наведеного матеріалу. Практичні ілюстрації виконано на прикладі автоматизованого конструювання таких деталей сільськогосподарських машин як диски ґрунтообробних знарядь.

Основна частина. Згідно з виданням [3] довільний опрацьований об'єкт (процес) O подається упорядкованою множиною

$$O = (o_i)_1^N, \quad (1)$$

де o_i – його елементи, N – їх число.

Розглядатимемо далі даний вираз як мультимножину, до складу якої можуть входити повторювальні елементи o_i . Це дозволяє узагальнити застосовуваний математичний апарат, підвищити ефективність його практичного використання.

Тоді кортеж (1) переписується у вигляді

$$O = (o_{k_i})_1^N, \quad (2)$$

де компоненти

$$o_{k_i} = (o_i)_1^{k_i} = k_i o_i, \quad (3)$$

k_i – коефіцієнт кратності елемента o_i , тобто кількість його екземплярів. Останній запис формули (3) відповідає прийнятому для мультимножин.

Проектні варіанти o_i відтворюються виразом

$$o_i = (o_{ij})_1^{N_i} \quad (4)$$

та векторами параметрів

$$P_{ij} = (p_{ij})_1^{N_{p_{ij}}}, \quad i \in (1, \dots, N), \quad j \in (1, \dots, N_i), \quad (5)$$

де $N_{p_{ij}}$ – число параметрів j -го варіанта i -го елемента.

Структурний взаємозв'язок між різновидами n -го та m -го елементів відображають матриці суміжності

$$C_{nm} = \|c_{nr} c_{ms}\|, \quad r \in (1, \dots, N_n), \quad s \in (1, \dots, N_m), \quad (6)$$

де $c_{nr} c_{ms} \neq 0$ при взаємодії o_{nr} та o_{ms} , $c_{nr} c_{ms} = 0$ – у протилежному випадку.

Після виконання синтезу згідно з певною послідовністю компонентів, зокрема показаною на рис 1, визначаються варіанти проєктованого об'єкта O

$$O = (O_n)_1^{N_o}. \quad (7)$$

Кожна складова (7) являє собою простий елементарний ланцюг у зображеному графі з початком у вершині O_1 і кінцем в O_N . Шестикутниками позначено циклічні процеси, кількість повторів у яких відповідає величинам $тц$, $зц$, $кц$, тобто відповідно початку, закінченню і кроку циклу.

Проілюструємо, спираючись на праці [4–7], на прикладі дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь запропоновану методику автоматизованого формоутворення, що базується на структурно-параметричному підході.

Геометричні аспекти класифікації цих технічних об'єктів проаналізовано в дослідженні [4]. Показано, що її основу становлять такі властивості даних виробів як форма базової поверхні, вирізів та отворів під вісь. На рис. 2 наведено вигляд комп'ютерної твердотільної моделі для певних стадій виготовлення сферичного диска з вирізами дугами кіл і комбінованими отворами (некруглим у центрі та круглими по колу).

Процес його виготовлення включає послідовність технологічних операцій

$$TO = (TO_i)_1^{N_{TO}} = (TO_i)_1^4, \quad (8)$$

де TO_1 – виконати центральний отвір та обрізати зовнішній контур заготовки, TO_2 – створити отвори по колу, TO_3 – зробити вирізи, TO_4 – деформувати диск.

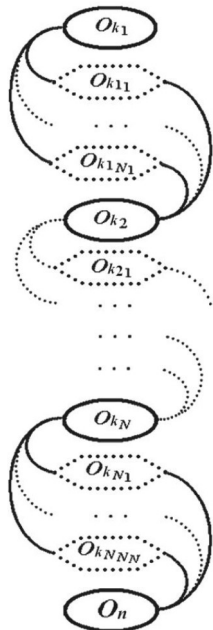


Рис. 1. Граф синтезу об'єкта O

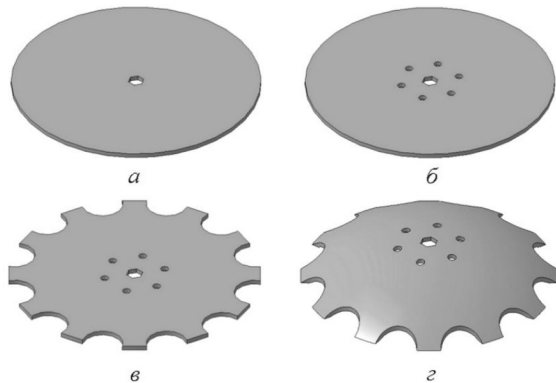


Рис. 2. Стадії виготовлення диска D :
 а – плоска заготовка після обрізання зовнішнього контуру; б – сформовані круглі отвори;
 в – зроблені вирізи; з – отримана сферична поверхня

На підставі залежностей (1) ... (8) маємо модель (рис. 3). При цьому овалами помічено неповторювані геометричні елементи, а шестикутниками – циклічні. Для кожної технологічної операції аналізується три параметричні варіанти, що відрізняються значеннями певних геометричних величин. Для заготовки це її товщина, діаметр зовнішнього кола та розміри призматичного отвору шестигранної форми. Для круглих отворів варіюються діаметр і кількість, а також радіус, який визначає їх розташування. Це ж стосується й вирізів. Для сферичної поверхні змінним є її радіус.

За умови всіх ненульових елементів матриць суміжності (6) отримуємо загалом 81 ($3^{N_{to}=3^4}$) досліджуваний параметричний варіант проєктованого диска

$$D = (D_n)_1^{N_d} = (D_n)_1^{81}. \quad (9)$$

Стосовно узагальнення зазначимо, що в даному випадку для уніфікованої побудови обводів круглої та шестигранної форми може бути застосований запропонований у статті [5] спосіб узагальненого контуру.

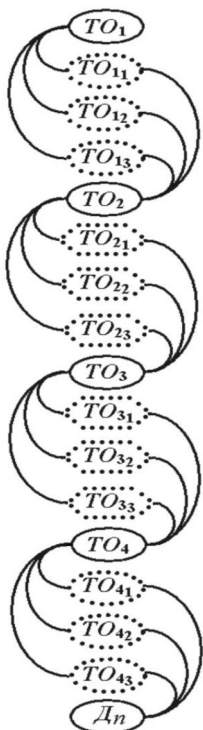


Рис. 3. Структурно-параметрична геометрична модель диска

Підкреслимо, що з використанням останнього належним чином створюються також й інші можливі отвори, зокрема квадратні, та систематизовані в публікації [4] вирізи дисків у вигляді складених прямолінійних контурів (V-подібні, трапецеїдальні), хвилясті (циклоїдальні, синусоїдальні) тощо.

З метою забезпечення комплексного, тобто з урахуванням вимог кількох фахових дисциплін, оптимального опрацювання технічної продукції, в даному разі дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь, варто застосовувати поданий у виданні [6] спосіб зменшення області проектних розв'язків.

Для циклічного формоутворення характерним є варіювання не тільки числа та положення модельованих фігур, а й їх розмірів і форми. Так, наприклад, при русі уздовж багатоманітних напрямних можуть також змінюватися й зазначені параметри геометричних об'єктів. Проаналізовані аспекти особливо корисні під час динамічного моделювання виробничих процесів.

Зауважимо, що на практиці наведена у вирізі (9) кількість проектних варіантів може бути як меншою, за рахунок нульових елементів матриць суміжності (6), так і більшою внаслідок великої кількості компонентів (2) та їх складових.

Проаналізований вище математичний апарат потребує своєї належної реалізації в середовищі сучасних комп'ютерних інформаційних технологій. Для цього останні мають необхідні програмні засоби, відкриті для написання користувачами свої власних додатків, які дозволяють успішно адаптувати наявні автоматизовані системи до конкретних умов їх використання.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У даній статті викладено запропоновану методику узагальнення структурно-параметричних геометричних моделей шляхом застосування до їх елементів циклічних, тобто повторювальних, операцій формоутворення. Поданий спосіб проілюстровано на прикладі варіантного автоматизованого формоутворення таких деталей сільськогосподарських машин як дискові робочі органи ґрунтообробних знарядь. Завдяки інваріантному характеру

розглянутого підходу, розроблених раніш відповідних способів комп'ютерного геометричного моделювання та здійсненої класифікації опрацьовуваних технічних об'єктів забезпечено підґрунтя для визначення засад інтегрованої комплексної методології формоутворення різноманітної промислової продукції під час її проектування, виготовлення та експлуатації. У цьому полягають перспективи проведення подальших теоретичних розвідок у даному науковому напрямку, практичного впровадження отриманих результатів.

Література

1. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Гумен О.М. та ін. Сучасний стан і перспективи подальшого розвитку наукової школи прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». *Прикладні питання математичного моделювання*. 2018. Вип. 2. С. 17–23. doi: 10.32782/2618-0340-2018-2-17-23.
2. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Гетьман О.Г., Яблонський П.М. Структурно-параметричне формоутворення як засіб інтеграції автоматизованого проектування технічних об'єктів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2019. Вип. 95. С. 46–50.
3. Ванін В.В., Вірченко Г.А. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання. *Геометричне та комп'ютерне моделювання*. 2009. Вип. 23. С. 42–48.
4. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Яблонський П.М. Деякі геометричні аспекти класифікації дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь. *Сучасні проблеми моделювання*. 2019. Вип. 16. С. 70–75.
5. Яблонський П.М. Деякі питання узагальнення формоутворення різального інструменту. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2019. Вип. 1 (68). С. 73–77.
6. Яблонський П.М. Деякі питання узагальнення засобів геометричного моделювання для проектування технічних об'єктів. *Сучасні проблеми моделювання*. 2018. Вип. 13. С. 192–198.
7. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Яблонський П.М. Автоматизоване геометричне моделювання дискових робочих органів технічних об'єктів. *Інформаційні системи, механіка та керування*. 2019. Вип.21. С. 5–13. doi: 10.20535/2219-3804212019197602.

References

1. Vanin, V.V., Virchenko, G.A., Gumen, O.M., Yurchuk, V.P., Yablonskyi, P.M. Suchasnyi stan i perspektyvy podalshoho rozvytku naukovoï shkoly prykladnoi heometrii Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskyyi politekhnichnyi instytut imeni Ihoria Sikorskoho». *Prykladni pytannia*

- matematychnoho modeliuвання*. 2018. Vyp. 2. S. 17–23. doi: 10.32782/2618-0340-2018-2-17-23. {in Ukrainian}
2. Vanin V.V., Virchenko G.A., Hetman O.H., Yablonskyi P.M. Strukturno-parametrychne formoutvorennia yak zasib intehratsii avtomatyzovanoho proektuvannia tekhnichnykh ob'ektiv. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*. 2019. Vyp. 95. S. 46–50. {in Ukrainian}
3. Vanin, V.V., & Virchenko, G.A. Vyznachennia ta osnovni polozhennia strukturno-parametrychnoho heometrychnoho modeliuвання. *Heometrychne ta kompiuterne modeliuвання*. 2009. Vyp. 23. S. 42–48. {in Ukrainian}
4. Vanin V.V., Virchenko G.A., Yablonskyi P.M. Deiaki heometrychni aspekty klasyfikatsii dyskovykh robochykh orhaniv gruntoobrobnykh znariad. *Suchasni problemy modeliuвання*. 2019. Vyp. 16. S. 70–75. {in Ukrainian}
5. Yablonskyi P.M. Deiaki pytannia uzahalnennia formoutvorennia rizalnoho instrumentu. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. 2019. Vyp. 1 (68). S. 73–77. {in Ukrainian}
6. Yablonskyi P.M. Deiaki pytannia uzahalnennia zasobiv heometrychnoho modeliuвання dlia proektuvannia tekhnichnykh ob'ektiv. *Suchasni problemy modeliuвання*. 2018. Vyp. 13. S. 192–198. {in Ukrainian}
7. Vanin V.V., Virchenko G.A., Yablonskyi P.M. Avtomatyzovane heometrychne modeliuвання dyskovykh robochykh orhaniv tekhnichnykh ob'ektiv. *Informatsiini systemy, mekhanika ta keruvannia*. 2019. Vyp. 21. S. 5–13. doi: 10.20535/2219-3804212019197602. {in Ukrainian}

д. т. н., профессор **Ванин В.В.**,

fmf@kpi.ua, ORCID: 0000-0001-7008-7269

д. т. н., профессор **Вирченко Г.А.**,

kpvir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538

к. т. н., доцент **Яблонский П.Н.**,

ypn@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1971-5140

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

К ВОПРОСУ ОБОБЩЕНИЯ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Нынешний этап развития научной школы прикладной геометрии КПИ имени Игоря Сикорского характеризуется, в частности, разработкой интегрированной комплексной методологии формообразования различных технических объектов для повышения эффективности их проектирования, изготовления и эксплуатации. При этом важными являются задачи создания надлежащих теоретических основ, обобщения соответствующих используемых способов построений, совершенствования методического, информационного и программного

обеспечения компьютерных систем, практического внедрения полученных результатов.

Предложенный школой КПИ имени Игоря Сикорского структурно-параметрический подход к геометрическому моделированию составляет основу для интегрированного комплексного автоматизированного формообразования. Поэтому дальнейшее улучшение указанной методологии благодаря модернизации существующего математического аппарата, разработке новых и совершенствованию существующих способов, приемов и алгоритмов является актуальной научно-прикладной проблемой.

В публикации приведена методика обобщения структурно-параметрических геометрических моделей путем применения к их элементам циклических, то есть повторяющихся, операций формообразования. Представленный инвариантный способ проиллюстрирован на примере автоматизированного проектирования таких компонентов сельскохозяйственных машин как дисковые рабочие органы почвообрабатывающих орудий. При этом использована изложенная в предыдущих работах авторов геометрическая классификация данных технических объектов, приемы их компьютерного твердотельного формообразования, способ уменьшения области проектных решений и обобщенного контура.

Таким образом, рассматриваемые изыскания являются развитием научных достижений, полученных на кафедре начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики КПИ имени Игоря Сикорского, определенным их теоретическим обобщением. В статье обозначены перспективы проведения дальнейших исследований в проанализированном научном направлении для разработки надлежащей интегрированной комплексной методологии формообразования разнообразных технических объектов.

Ключевые слова: автоматизированное формообразование; геометрические модели; интегрированная комплексная методология; дисковые рабочие органы почвообрабатывающих орудий; структурно-параметрический подход; технические объекты.

Doctor of Technical Sciences, Professor **Volodymyr Vanin**,
fmf@kpi.ua, ORCID: 0000-0001-7008-7269
Doctor of Technical Sciences, Professor **Gennadii Virchenko**,
kpivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538
Doctor of Philosophy, Associate Professor **Petro Yablonskyi**,
ypn@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1971-5140
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

TO THE QUESTION OF GENERALIZATION OF STRUCTURAL-PARAMETRIC SHAPING OF TECHNICAL OBJECTS

The current stage of evolution of the applied geometry scientific school of the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute is characterized, in particular, by the creation of an integrated complex methodology for shaping various technical objects to improve the efficiency of their design, manufacture and operation. At the same time, the tasks of developing the appropriate theoretical foundations, generalization of the relevant used means, improvement of methodological, informational and software support of computer systems, and practical implementation of the obtained results are very important.

The structural-parametric approach to geometric modeling proposed by the applied geometry scientific school of the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute is the basis for integrated complex automated shaping of various industrial products. Therefore, further improvement of this methodology due to the progress of the existing mathematical apparatus, the development of new and upgrading of existing methods, techniques and algorithms is an urgent scientific and applied problem.

The publication presents a new method for generalization of structural-parametric geometric models by applying to their elements cyclic, ie repetitive, operations of shaping. The presented invariant method is illustrated by the example of computer-aided design of such components of agricultural machines as disk working bodies of tillage implements. At the same time, the geometric classification of these technical objects, the techniques for their computer solid-state shaping, a method for reducing the area of design solutions and a generalized contour, described in the previous works of the authors, were used.

Thus, this work is the expansion of scientific achievements obtained at the Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, a certain theoretical generalization of them. The article outlines the prospects for further research in the analyzed scientific direction for the development of an appropriate integrated complex methodology for shaping of variety technical objects.

Key words: automated shaping; geometric models; integrated complex methodology; disk working bodies of tillage implements; structural-parametric approach; technical objects.