

УДК 004.925.8:621

DOI: 10.32347/0131-579x.2023.105.16-22

д. т. н. професор **Ванін В. В.**,  
vaninvladimir30@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7008-7269

д. т. н., професор **Вірченко Г. А.**,  
kpivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538

к. т. н., доцент **Яблонський П. М.**,  
yрn@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1971-5140

ст. викладач **Лазарчук-Воробйова Ю. В.**,  
jullazarchuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7866-3299

ст. викладач **Воробйов О. М.**,  
vorobyov.kpi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5314-1075

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

## **МОДУЛЬНО-ГЕОМЕТРИЧНИЙ ПІДХІД В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ПРОЄКТУВАННІ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ**

*Машинобудування являє собою одну з базових галузей світової промисловості. З ним тісно пов'язане становлення нашої держави як складової спільноти європейських країн. Тому доволі актуальний подальший розвиток машинобудування шляхом здійснення належних його вдосконалень. Загальновизнаним напрямком підвищення якості продукції є автоматизоване проєктування, що нині доволі розповсюджене в зазначеній сфері діяльності. Про це свідчить широке використання різноманітних CAD/CAM/CAE/PDM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing/Computer-Aided Engineering/Product Data Management) комп'ютерних систем. Без останніх створити технічні об'єкти світового рівня практично неможливо. Даний факт обумовлено тим, що вказані засоби дозволяють суттєво скоротити терміни проєктування виробів, підвищити їхню якість, знизити витрати при виготовленні та експлуатації.*

*Відомо, що геометричне моделювання становить фундаментальний компонент створення багатьох видів промислової продукції, є невід'ємним елементом багатьох сучасних САПР (систем автоматизованого проєктування). Отже, від досконалості комп'ютерного формоутворення суттєво залежать відповідні характеристики опрацьовуваних технічних об'єктів. Існує чимало науково-методичних підходів до ефективної його практичної реалізації. Один із них становить методологія структурно-параметричного геометричного моделювання, запропонована науковою школою прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».*

*Прогресивним напрямком у машинобудуванні є модульний підхід, що застосовується під час проектування, виготовлення та експлуатації технічної продукції. Багато питань на різних стадіях життєвого циклу тісно пов'язані з геометричними параметрами виробів. Тому актуальна науково-прикладна задача стосовно напрацювання належних засобів для відповідного комп'ютерного формоутворення. На окреслення стратегії для вирішення описаного завдання націлена ця публікація. Подана в ній концепція опирається на засади структурно-параметричної методології.*

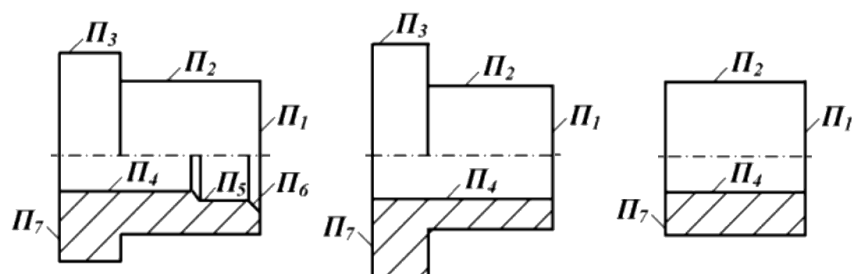
*Ключові слова: автоматизоване проектування; геометричне моделювання; комп'ютерні інформаційні технології; машинобудування; модульний підхід; структурно-параметрична методологія.*

**Постановка проблеми.** Машинобудування є базовою галуззю промисловості України. З метою підвищення його ефективності на практиці широко використовуються різноманітні CAD/CAM/CAE/PDM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing/Computer-Aided Engineering/Product Data Management) комп'ютерні системи. Одну з фундаментальних їхніх основ становить геометричне моделювання. Прикладом ефективної його реалізації слугує методологія структурно-параметричного формоутворення. Перспективне в машинобудуванні також застосування модульного підходу. Тому актуальною науково-технічною задачею є напрацювання та впровадження належних модульних геометричних засобів автоматизованого проектування. Даному питанню присвячено цю статтю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У виданнях [1–3] містяться загальні відомості щодо різноманітних машинобудівних САПР (систем автоматизованого проектування), докладно розглядаються наявні їхні функціональні можливості. Зокрема, це стосується й підсистем машинної графіки та геометричного моделювання. Подаються підходи до побудови відповідних моделей. У статті [4] викладено базові положення структурно-параметричного формоутворення, а у праці [5] – засади модульних технологій машинобудування. Застосуванню комп'ютерних структурно-параметричних геометричних моделей для раціонального проектування технологічних процесів оброблення різанням присвячено роботу [6]. Публікацією [7] висвітлено питання використання модульного підходу під час складання редуктора. У дослідженні [8] наведено тривимірне модульне моделювання формоутворюючих систем шліфувальних верстатів. Таким чином, виконаний аналіз літературних джерел показав актуальність обраної теми наукових розвідок.

**Цілі та завдання статті** полягають в описі запропонованої концепції застосування модульно-геометричного моделювання в середовищі сучасних машинобудівних САПР, яка спирається на методологію структурно-параметричного формоутворення.

**Основна частина.** Структурно-параметричну геометричну модель можна розглядати як сукупність кількох взаємопов'язаних параметричних моделей. Головна перевага при цьому полягає у зручності проведення належної оптимізації конструкції певного виробу та технологічних процесів його виготовлення. Оберемо для прикладу подані у виданні [9] три типові деталі та маршрути їхнього виробництва, див. рис. 1 і табл. 1.



$$D_1=(P_1 \dots P_7) \quad D_2=(P_1 \dots P_4 P_7) \quad D_3=(P_1, P_2, P_4, P_7)$$

Рис. 1. Три типові деталі

Таблиця 1

Технологічні маршрути виготовлення

Операції		Поверхні								Деталі			
Позн.	Найменування	-	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	-	$D_1$	$D_2$	$D_3$
$\tau_0$	Заготівельна	x									x	x	x
$\tau_1$	Підрізальна		x								x	x	x
$\tau_2$	Обточування			x							x	x	x
$\tau_3$	Обточування				x						x	x	
$\tau_4$	Свердління					x					x	x	x
$\tau_5$	Свердління						x				x		
$\tau_6$	Розточування							x			x		
$\tau_7$	Відрізання								x		x	x	x
$\tau_8$	Контрольна									x	x	x	x

У даному випадку за характерні ознаки деталей  $D_i$ , де  $i \in \{1, 2, 3\}$ , прийняті поверхні  $P_j$ , де  $j \in \{1, \dots, 7\}$ , які можуть бути реалізовані певними конструкційними, тобто геометричними, та технологічними модулями.

Для розглянутих об'єктів доволі ефективно застосування типових виробничих процесів згідно з наведеними в табл. 1 маршрутами. Більш прогресивним варто вважати використання групових інтегрованих конструкційно-технологічних модулів. При цьому за комплексний виріб, що включає всі створювані поверхні, береться деталь  $D_1$ . Належну структурно-параметричну модель, яка охоплює стадії конструювання та виготовлення, показано на рис. 2.

З точки зору математики остання є мультиграфом, дугам якого відповідають необхідні аналітичні параметричні залежності, що описують операції конструювання та технології виготовлення проаналізованих технічних об'єктів. Це дозволяє успішно здійснювати їхню комплексну багатокритеріальну структурно-параметричну оптимізацію.

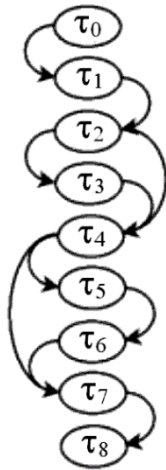


Рис. 2. Структурно-параметрична модель комплексного модуля

Питанням застосування модульних технологій під час складання виробів машинобудування присвячено працю [7]. Запропоновані в ній ідеї проілюстровано на прикладі виготовлення редуктора.

Викладений вище підхід використання структурно-параметричної методології для автоматизованого конструкторсько-технологічного модульного формоутворення може бути поширено й на зазначену складанню одиницю. Це також стосується модульного тривимірного комп'ютерного моделювання елементів систем шліфувальних верстатів [8].

Наприклад, модульних тривимірних моделей оброблювальних поверхонь, зображених на рис. 3.

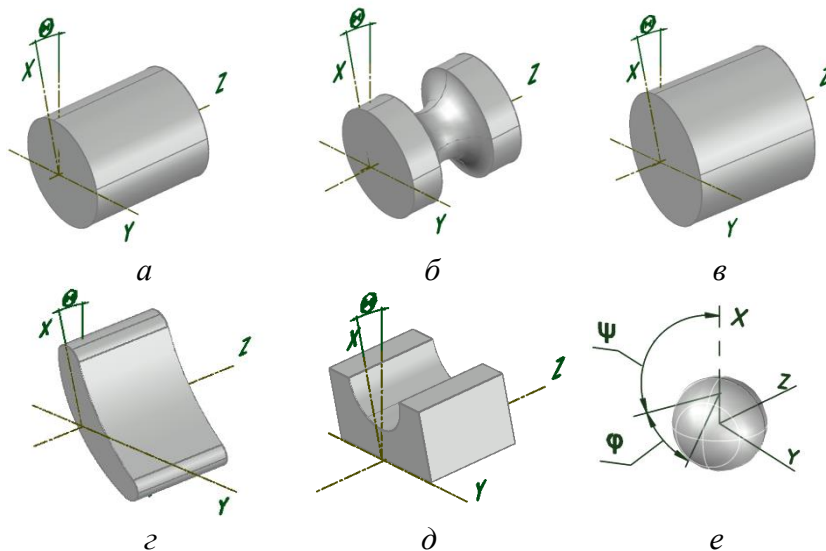


Рис. 3. Модульні 3D моделі оброблюваних поверхонь:

- a* – циліндрична, торцева, гвинтова;
- б* – криволінійна обертання;
- в* – некругла циліндрична;
- г* – подвійної кривини;
- д* – неповна циліндрична;
- е* – сферична

Викладемо деякі міркування щодо загальної організації модульно-геометричного підходу в середовищі нинішніх САПР машинобудування. Зазначені комп'ютерні засоби мають належні універсальні модулі побудови та модифікації різноманітних геометричних об'єктів. Це стосується створення, наприклад, точок, ліній, поверхонь, тіл та їхньої відповідної трансформації. Однак, для ефективного опрацювання конкретних технічних об'єктів необхідні спеціалізовані комплексні графічні модулі, які належним чином враховують наявні особливості зазначеної продукції. В окресленому плані доволі перспективним для цього є широке використання структурно-параметричної методології формоутворення.

**Висновки та перспективи досліджень.** Дану публікацію присвячено

важливій на сучасному етапі розвитку української держави проблеми вдосконалення такої провідної галузі народного господарства, як машинобудування. Показано важливість при цьому автоматизованого проектування у вигляді систем CAD/CAM/CAE/PDM. Обґрунтовано базовий характер геометричного моделювання в зазначених засобах комп'ютерних інформаційних технологій. Запропоновано поширення методології структурно-параметричного формоутворення, напрацьованої науковою школою прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», за рахунок нових способів, прийомів, алгоритмів і моделей модульно-геометричного підходу.

Було розглянуто конкретні приклади, які ілюструють дані питання. Зокрема, стосовно механічного оброблення деталей та виконання складальних операцій. Здійснено необхідні узагальнення шляхом подання напрацьованої концепції організації графічних підсистем САПР машинобудування у вигляді відповідних універсальних та спеціалізованих комплексних геометричних модулів.

Окреслена у статті науково-прикладна тематика потребує свого подальшого належного як теоретичного опрацювання, так і широкого впровадження на практиці.

## Література

1. Сиротинський О. А. Основи автоматизації проектування машин. Рівне: УДУВГП, 2003. 252 с.
2. Цибенко О. С., Кришук М. Г. Системи автоматизованого проектування та інженерного аналізу в машинобудуванні. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 100 с.
3. Донченко М. В. Технології комп'ютерного проектування. Миколаїв: ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 64 с.
4. 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.
5. Базров Б. М. Модульная технология в машиностроении. Москва: Машиностроение, 2001. 368 с.
6. Вірченко Г. А. Застосування комп'ютерних структурно-параметричних геометричних моделей для раціонального проектування технологічних процесів у машинобудуванні. *Машинознавство*, 2010, №7 (157). С. 34.
7. Філіппова М. В., Соколенко М. В., Гавриш М. О. Модульні технології складання редуктора. *Молодий вчений*, 2016. №7 (34). С. 198–200.
8. Кальченко В. В. Модульне 3D моделювання формоутворюючих систем шліфувальних верстатів, інструментів та оброблюваних поверхонь. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*, 2005. Т. 10, № 1. С. 68–79.
9. Пальчевський Б. О. Дослідження технологічних систем (моделювання,

проектування, оптимізація). Львів: Світ, 2001. 232 с.

## References

1. Syrotynskyi O. A. *Osnovy avtomatyzatsii proektuvannia mashyn*. Rivne: UDUVHP, 2003. 252 s. {in Ukrainian}
2. Tsybenko O. S., Kryshchuk M. H. *Systemy avtomatyzovanoho proektuvannia ta inzhenerneho analizu v mashynobuduvanni*. Kyiv: NTUU «KPI», 2008. 100 s. {in Ukrainian}
3. Donchenko M. V. *Tekhnolohii kompiuternoho proektuvannia*. Mykolaiv: ChNU im. Petra Mohyly, 2021. 64 s. {in Ukrainian}
4. Vanin V. V., Virchenko G. A. *Vyznachennia ta osnovni polozhennia strukturno-parametrychnoho heometrychnoho modeliuvannia. Heometrychne ta kompiuterne modeliuvannia*. 2009. Vyp. 23. S. 42–48. {in Ukrainian}
5. Bazrov B. M. *Modulnaia tekhnolohyia v mashynostroenyy*. Moskva: Mashynostroenye, 2001. 368 s. {in Russian}
6. Virchenko G. A. *Zastosuvannia kompiuternykh strukturno-parametrychnykh heometrychnykh modelei dlia ratsionalnogo proektuvannia tekhnolohichnykh protsesiv u mashynobuduvanni. Mashynoznavstvo*, 2010, №7 (157). S. 34. {in Ukrainian}
7. Filippova M. V., Sokolenko M. V., Havrysh M. O. *Modulni tekhnolohii skladannia reduktora. Molodyi vchenyi*, 2016. №7 (34). S. 198–200. {in Ukrainian}
8. Kalchenko V. V. *Modulne 3D modeliuvannia formoutvoriuiuchykh system shlifovalnykh verstativ, instrumentiv ta obroblivanykh poverkhon. Visnyk Ternopilskoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu*, 2005. T. 10, № 1. S. 68–79. {in Ukrainian}
9. Palchevskyi B. O. *Doslidzhennia tekhnolohichnykh system (modeliuvannia, proektuvannia, optymizatsiia)*. Lviv: Svit, 2001. 232 s. {in Ukrainian}

Doctor of Technical Sciences, Professor **Volodymyr Vanin**,  
vaninvladimir30@gmail.com, 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  
Senior Teacher **Yuliia Lazarchuk-Vorobiova**,  
jullazarchuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7866-3299  
Senior Teacher **Oleksii Vorobiov**,  
vorobyov.kpi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5314-1075

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

## **MODULAR-GEOMETRIC APPROACH IN AUTOMATED DESIGN OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS**

*Mechanical engineering is one of the basic branches of world industry. The formation of our state as a component of the community of European countries is closely related to it. Therefore, the further development of mechanical engineering by making appropriate improvements to it is quite relevant. A generally recognized direction for improving product quality is computer-aided design, which is quite common in the specified field of activity. This is evidenced by the widespread use of various CAD/CAM/CAE/PDM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing/Computer-Aided Engineering/Product Data Management) computer systems. Without the latter, it is almost impossible to create world-class technical facilities. This is due to the fact that the specified means make it possible to significantly shorten the design time of products, increase their quality, and reduce manufacturing and operating costs.*

*It is known that geometric modeling is a fundamental component for the creation of many types of industrial products and is an integral element of many modern CAD systems, i.e. automated design systems. Consequently, the corresponding characteristics of the created technical objects significantly depend on the perfection of computer shaping. There are many scientific and methodological approaches to its effective practical implementation. One of them is the methodology of structural-parametric geometric modeling proposed by the scientific school of applied geometry of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorskyi Kyiv Polytechnic Institute".*

*A progressive direction in mechanical engineering is a modular approach, which is used during the design, manufacture and operation of technical objects. Many issues at different stages of the life cycle are closely related to the geometric parameters of products. Therefore, the scientific and applied task of developing appropriate tools for computer shaping is relevant. This publication is aimed at defining a strategy for solving the described problem. The concept presented in it is based on the principles of structural-parametric methodology.*

*Key words: automated design; geometric modeling; computer information technologies; mechanical engineering; modular approach; structural-parametric methodology.*