

УДК 514.18+004.925.8

## **ЗАСТОСУВАННЯ КРУГОВОГО МАСИВУ ЯК ЗАСОБУ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНОМУ ДИЗАЙНІ**

DOI: 10.33842/2313-125X-2026-29-3-14

Архіпов О.В., канд. техн. наук,

[alex.khadi.kharkov@gmail.com](mailto:alex.khadi.kharkov@gmail.com), ORCID: 0000-0002-2287-1451

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)*

*Проектування сучасних промислових та побутових виробів стає дедалі складнішим і різноманітнішим, що потребує скорочення термінів виконання та оптимізації кількості залучених фахівців. Цього можна досягти завдяки автоматизації процесів та використанню комп'ютерних технологій. У цьому контексті параметричне геометричне моделювання набуває особливого значення як ефективний інструмент інженерів і дизайнерів.*

*Параметрична тривимірна комп'ютерна модель дає змогу оперативно змінювати геометрію виробу в широкому діапазоні та швидко оцінювати його конструктивні, експлуатаційні, технологічні й естетичні характеристики, що дозволяє визначати переваги й недоліки різних варіантів виконання та знаходити оптимальне рішення. У середовищі Autodesk Inventor та інших сучасних САД-системах зазвичай користувачами це реалізується завдяки параметризації взаємного розташування робочих площин, геометрії твірних (замкнених контурів для твердотільних моделей) та траєкторій видавлювання. Але існує значна кількість моделей, геометрія яких може істотно або навіть принципово змінюватись шляхом зміни параметрів певного первісного елемента, скопійованого круговим масивом, та завдяки зміні кількості елементів в цьому масиві.*

*У роботі виконано аналіз існуючих підходів та запропоновано нові алгоритми формоутворення, в яких саме масив по колу лежить в основі параметризації моделі та дозволяє отримувати принципові зміни в її геометрії шляхом зміни лише одного чи декількох параметрів. Для апробації автором побудовано в програмі Autodesk Inventor приклади параметричних рядів моделей машинобудівних та побутових виробів, елементів геометричних орнаментів, виконаних з застосуванням запропонованих алгоритмів. Наведено приклади застосування функції Inventor iLogic, яка дозволяє прописувати на етапі створення моделі ті чи інші правила (інструкції), що безпосередньо впливають на геометрію моделі, а надалі їх редагувати. Її використання дозволяє додатково збільшити різноманітність геометричних форм, що можуть бути отримані на базі лише однієї параметричної моделі.*

*Результати роботи можуть бути використані в роботі*

конструкторських та дизайнерських бюро, навчальному процесі.

*Ключові слова:* геометрична параметризація, круговий масив, методи формоутворення, комп'ютерне моделювання, Autodesk Inventor.

**Постановка проблеми.** Сучасне конструювання виробів дедалі більше ґрунтується на комп'ютерному моделюванні, яке стало стандартом завдяки розвитку спеціалізованого програмного забезпечення та алгоритмів його використання. Зростає інтерес конструкторів і дизайнерів до параметризації моделей. Параметрична тривимірна модель машинобудівного чи побутового виробу дає змогу швидко адаптуватися до змін характеристик, відтворювати та аналізувати різні варіанти виконання, оцінюючи конструктивні, експлуатаційні й ергономічні переваги геометрії. Сучасні САД-системи пропонують розвинений інструментарій для створення параметричних моделей, проте його використання вимагає специфічних алгоритмів і підходів, що доповнюють класичні. Подальший розвиток алгоритмів параметризації може суттєво розширити можливості конструкторів і дизайнерів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сьогодні більшість дизайнерів використовують спеціалізовані комп'ютерні програми для 3D-моделювання. Серед них варто відзначити Autodesk 3Ds Max Design, Autodesk Alias, Rhinoceros, Blender, SketchUp. Водночас конструктори та значна частина дизайнерів працюють із конструкторськими програмами (Autodesk Inventor, SolidWorks, CATIA, Siemens NX, T-Flex CAD). Саме тривимірні моделі, створені у таких системах, виявляються доцільними для всебічного аналізу та впровадження розробок у виробництво. Значні функціональні можливості роблять програму Autodesk Inventor [7] однією з найбільш поширених серед конструкторів у світі. Література містить достатньо інформації щодо використання її засобів при побудові складних параметричних моделей окремих машинобудівних деталей [1, 2, 3, 5] та побутових виробів [4, 6]. У цих роботах розглянуто різні алгоритми й підходи до параметризації моделей. Проте використанню кругового масиву як засобу параметризації приділено недостатньо уваги: не проаналізовано коло можливих геометрій, для яких формоутворення шляхом копіювання по колу первісного елемента є доцільним, не узагальнено можливі підходи до створення первісного елемента та його впливу на подальшу геометрію моделі.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є аналіз можливостей застосування кругового масиву при параметризації широкого кола деталей різноманітної геометрії, розробка та апробація алгоритмів створення параметричного первісного елемента для подальшого копіювання по колу, практична оцінка ефективності застосування запропонованого алгоритму формоутворення та перевірка розроблених підходів до моделювання за допомогою програми Autodesk Inventor Professional.

**Основна частина.** Програма Autodesk Inventor [7] надає широкі

можливості для створення параметричних моделей як окремих деталей, так і складань на їх основі. Практичне значення параметричної моделі полягає у врахуванні можливих змін геометрії її елементів. У наукових джерелах наведено приклади та алгоритми побудови параметричних моделей деталей, що допускають зміну геометрії у широкому діапазоні [1 – 6]. Важливо передбачати можливі зміни форми вже на початковому етапі моделювання. Тому при параметричному моделюванні необхідно брати до уваги традиційні та перспективні композиційні рішення, властиві аналогам, цілісність форми, підпорядкованість елементів, композиційну рівновагу, єдність характеру форми, симетрію або асиметрію. Можливість створення в Autodesk Inventor параметричних моделей деталей, які за бажанням конструктора змінюють геометрію у широкому діапазоні, ґрунтується на таких принципах [4]:

- взаємне розташування робочих елементів (площин, осей, точок), що визначають поверхню деталі, може виступати параметром, що змінюється в межах однієї моделі;
- геометрія твірних (контурів), напрямних і траєкторій видавлювання, що застосовуються при кінематичному способі формоутворення, підпорядковується відповідним параметрам;
- функція iLogic у програмі Autodesk Inventor дозволяє задавати правила (інструкції), які безпосередньо впливають на геометрію моделі.

Команда "Круговий масив" ("Circular Pattern") в Autodesk Inventor традиційно застосовується для копіювання конструктивних елементів у заданій кількості. У даній роботі розглянуто випадки, коли ця команда може стати основою параметричного формоутворення, а її використання на початковому етапі створення моделі істотно розширює діапазон можливих змін геометрії в межах однієї параметричної моделі.

Природньо, що застосування кругового масиву є доречним при параметризації розеткових орнаментів [6]. На рис. 1 наведено результат формування первісного елемента, отриманий на основі геометричних побудов, що містить одразу подовжені епі- та гіпоциклоїди як ескізу зсуву.

При побудові ескізу були передбачені можливості:

- вільного розташування центру нерухомого кола та початкової точки кривої на площині (параметри "roR", "fiR" та "fiRm" в таблиці параметрів користувача програми Autodesk Inventor);
- зміни діаметру та співвідношення діаметрів рухомого та нерухомого кіл, що впливає на кількість симетричних гілок кривої (параметри "R", "Rm");
- зміни співвідношення відстані між точкою, що утворює криву, та центром рухомого кола до радіуса рухомого кола, що дає змогу переходити від побудови подовжених трохоїд до нормальних, чи скорочених (параметр "KRm");
- переходу від побудови епіциклоїди до гіпоциклоїди (зміна знаку у виразах для "Epi\_Giro" та "roCm" з "+" на "-").

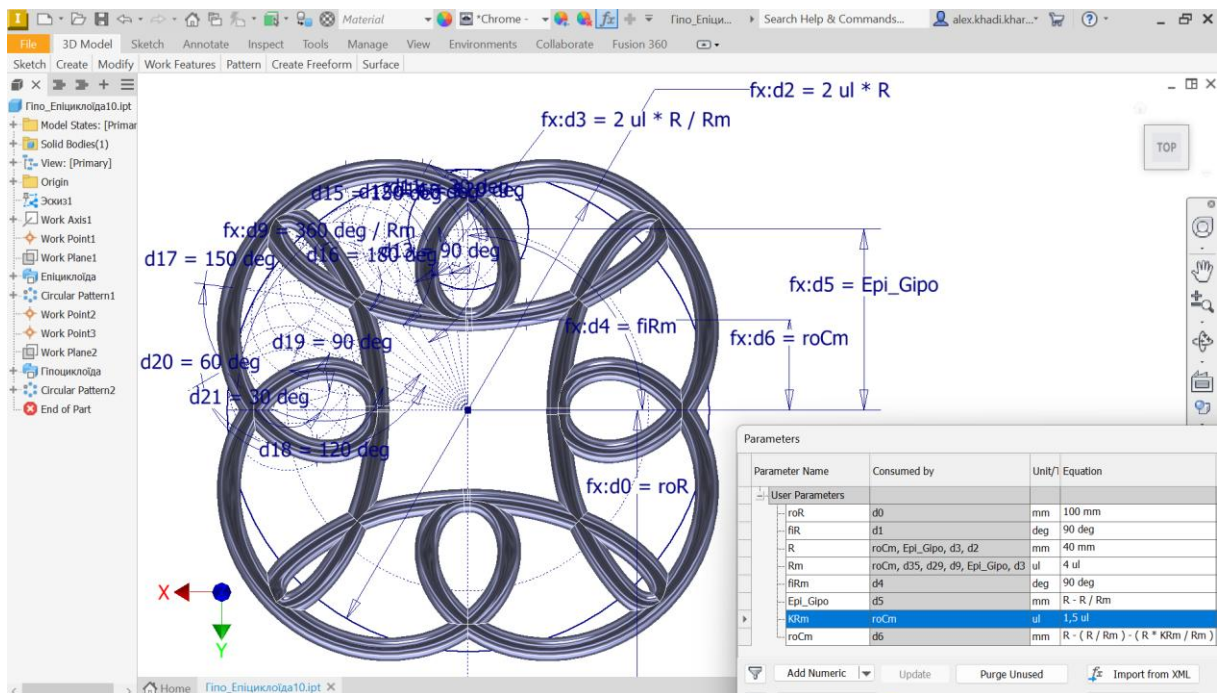


Рис. 1. Первісний елемент орнаменту на базі подовжених трохоїд

Отриманий розетковий орнамент може бути використаний для побудови на його основі стрічкового або сітчастого орнаментів [6] за допомогою прямокутного масиву (команда "Rectangular Pattern").

Прикладом виробу автомобілебудування, який характеризується безмежною кількістю варіантів виконання, є автомобільний диск. У декількох публікаціях розглянуто можливі алгоритми створення його параметричної моделі [3, 5]. Ідея побудови моделі набору спиць для параметричної моделі автомобільного диска розглянута в роботі [3]. На рис. 2 показано ескіз для побудови першої спиці набору. Потім вона може бути скопійована круговим масивом, а при необхідності віддзеркалена відносно однієї з робочих площин.

Спиця будується за перерізами та траєкторією, яка має вигляд сплайна, що побудований за точками. Допоміжні побудови виконано таким чином, що кутівий параметр  $\alpha_1$  дає змогу змінювати початкову точку розташування спиці. Це важливо при необхідності віддзеркалення первісного елемента відносно початкової робочої площини.

Кут  $\alpha_2$  змінює кут нахилу спиці, а також дозволяє переходити від побудови спіралі Архімеда ( $\alpha_2=0^\circ$ ) до евольвенти ( $\alpha_2=90^\circ$ ) та отримувати всі проміжні криві. Кут  $\alpha_3$  визначає "закручування" спиці (для спіралі Архімеда – крок) та дозволяє переходити до побудови прямолінійних спиць (за умови  $\alpha_3=0^\circ$ ).

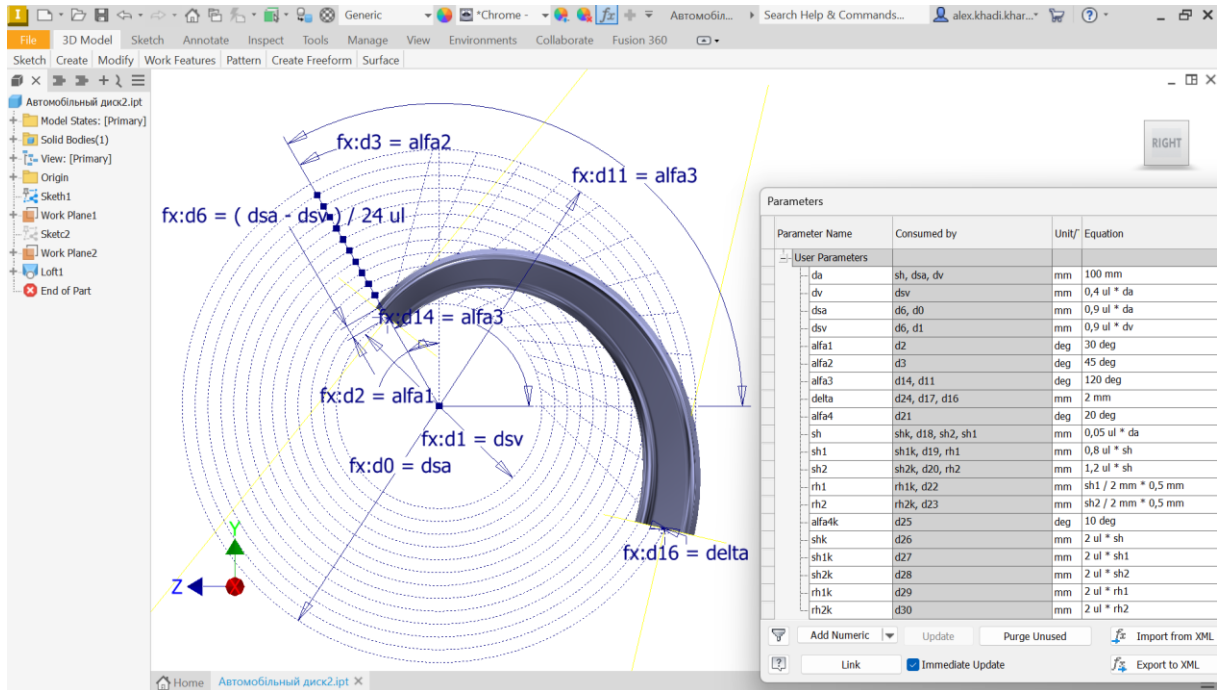


Рис. 2. Побудови спиці автомобільного диска

На рис. 3 наведено деякі варіанти візуалізації моделі автомобільного диска, що відповідають різним значенням параметрів  $\text{alfa1}$ ,  $\text{alfa2}$ ,  $\text{alfa3}$ , кількості спиць та геометрії їх перерізів, заданої параметрично.



Рис. 3. Можливі варіанти візуалізації моделі автомобільного диска

Очевидно, що круговий масив може бути покладений в основу параметричних моделей зубчастих коліс, зірочок, деталей турбомашин.

Алгоритм, наведений у роботі [4], значно розширює діапазон можливих геометричних форм, що можуть бути відтворені із застосуванням кругового масиву на основі однієї параметричної моделі. Первісний елемент будується за перерізами шляхом задання двох перерізів, що лежать у паралельних площинах, розташованих на відстані висоти моделі, та двох прямолінійних напрямних (рис. 4, а).

Спочатку кожен із перерізів має вигляд сектора кола, який обмежений кутом  $360^\circ/k_1$ .  $k_1 = 2$  – відповідає колу ( $r_1 = d_{11}/2$ ). Ціле значення  $k_1$ , при  $k_1 > 2$ , визначає кількість сторін правильного багатокутника, що лежить в основі базового елемента моделі. При цьому, використання Inventor iLogic дозволяє переходити від перерізу у вигляді сегмента кола до трикутника, тобто при  $k_1 > 2$ , значення  $r_1$  прямує до нескінченності (рис. 4, б).

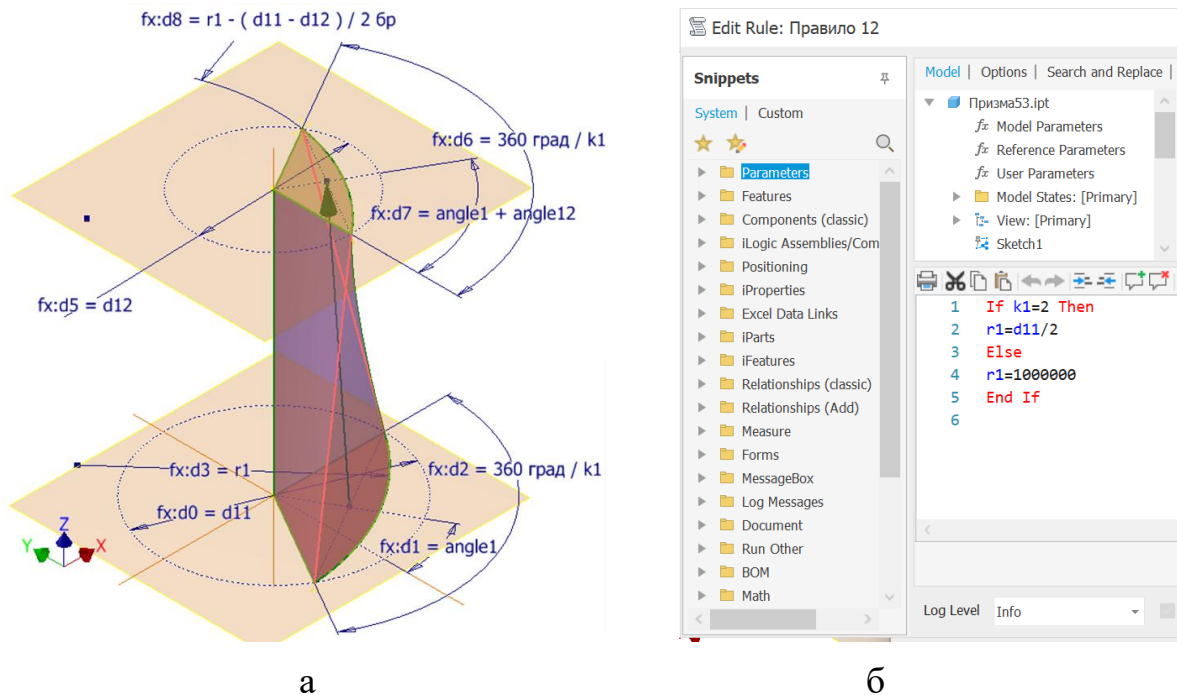


Рис. 4. Створення первісного елемента моделі: а) побудова елемента за двома перерізами; б) застосування правила iLogic для параметризації

Подальше копіювання за допомогою кругового масиву (відносно вертикальної осі з кількістю елементів, що дорівнює  $k_1$ ) отриманого за перерізами первісного елемента дозволяє отримати усічені конус або піраміду з будь-якою кількістю граней, а зміна кута  $\text{angle1}$  дозволяє по-різному орієнтувати отримані гранні поверхні щодо початкової фронтальної площини (рис. 5). Зміна діаметру верхнього кола  $d_{12}$  (див. рис. 4, а) дозволяє, якщо  $d_{12} = d_{11}$ , отримати базовий елемент моделі у вигляді циліндра або призми. За умови наближення  $d_{12}$  до нуля отримуємо конус або піраміду (рис. 6).

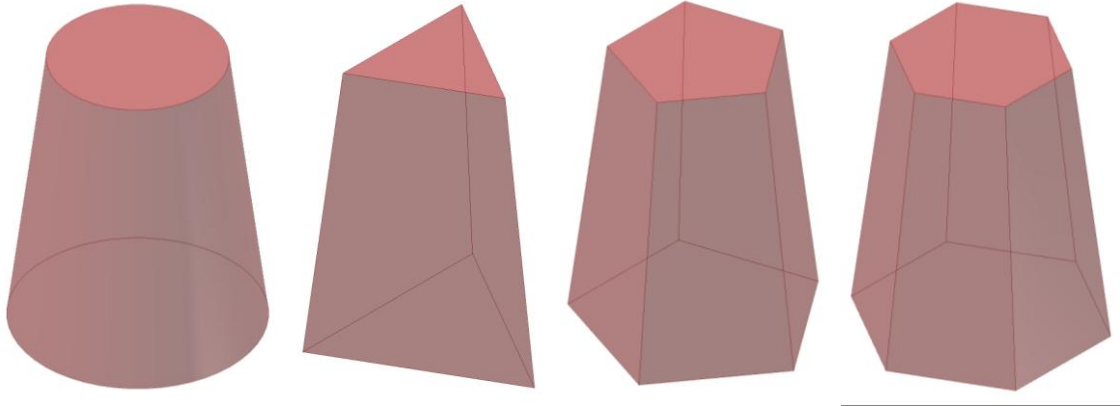


Рис. 5. Вплив параметра  $k1$  на геометрію моделі ( $k1 = 2, 3, 5, 6$ )

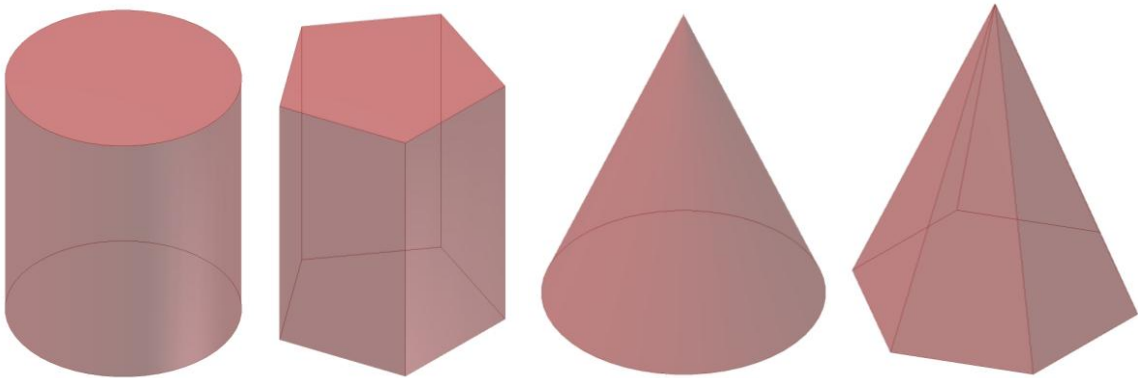


Рис. 6. Вплив параметра  $d12$  на геометрію моделі

Іншим змінним параметром є кут повороту верхнього перерізу базового елемента відносно нижнього, навколо вертикальної осі –  $angle12$  (див. рис. 4, а). Вплив його варіації на геометрію моделі показано на рис. 7.

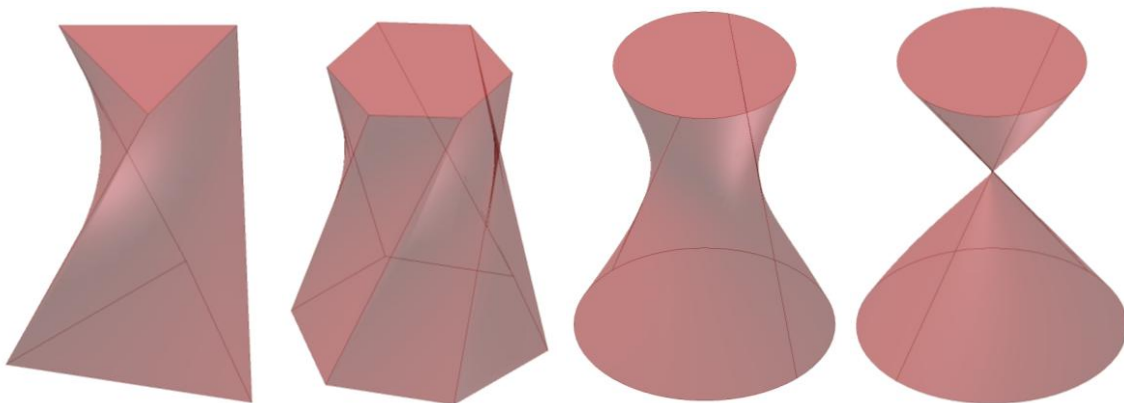


Рис. 7. Вплив параметра  $angle12$  на геометрію моделі

Таким чином, використавши параметричний первісний елемент, наведений на рис. 4 (а), ми із застосуванням кругового масиву змогли отримати піраміду, призму, конус, циліндр, а також однопорожнинний гіперболоїд обертання та модель, обмежену з боків косими площинами.

Аналогічно до базового елемента, було створено елементи для формування, за потреби, горизонтального і вертикального отворів (рис. 7). Їхня геометрія може бути такою ж різноманітною, а кількість параметрів, які користувач має задати, дещо зростає за рахунок необхідності визначення взаємного положення об'єктів.



Рис. 7. Можлива геометрія параметричної моделі з отворами

Як приклад застосування наведеного підходу в дизайні побутового виробу наведемо результати моделювання абажура для настільної лампи або торшера (рис. 8).



Рис. 8. Параметрична модель абажура  
Первісний елемент моделі абажура побудовано за тим самим

алгоритмом, що й у попередній моделі. Кількість геометричних варіантів композиційних рішень, що відповідають моделі, вдалося збільшити шляхом моделювання порожнини при створенні первісного елемента, яка відтворює вертикальні ребра та горизонтальний прогин, що є одними з доцільних дизайнерських рішень. На етапі візуалізації параметричної моделі необхідно принципово визначитися з наявністю цих елементів та обрати ті розміри, які їм будуть відповідати. Підключення та відключення цих елементів виконується за допомогою Inventor iLogic.

Існує ще окремий ряд моделей, які в кінцевому вигляді зовні не містять повноцінного кругового масиву, але на етапі їх створення застосувати масив по колу є доцільним. На рис. 9 наведено первісний елемент, а на рис. 10 створену на його базі параметричну модель структури, натхненну концепцією сферикона.

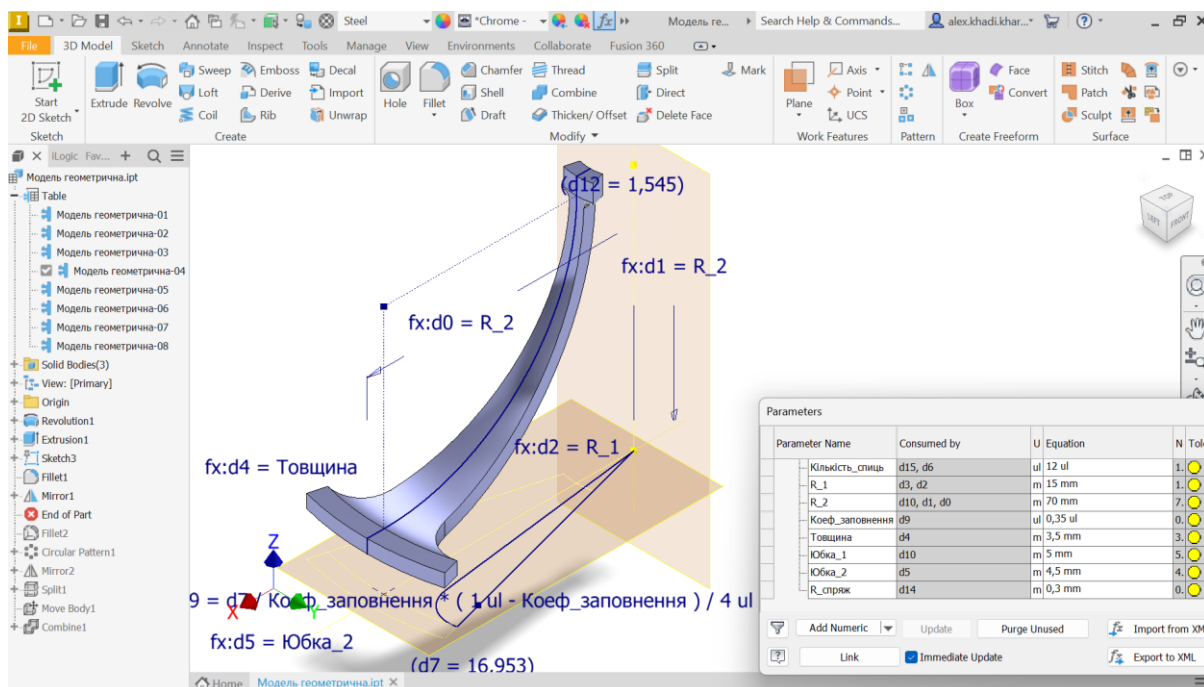


Рис. 9. Первісний елемент параметричної моделі структури

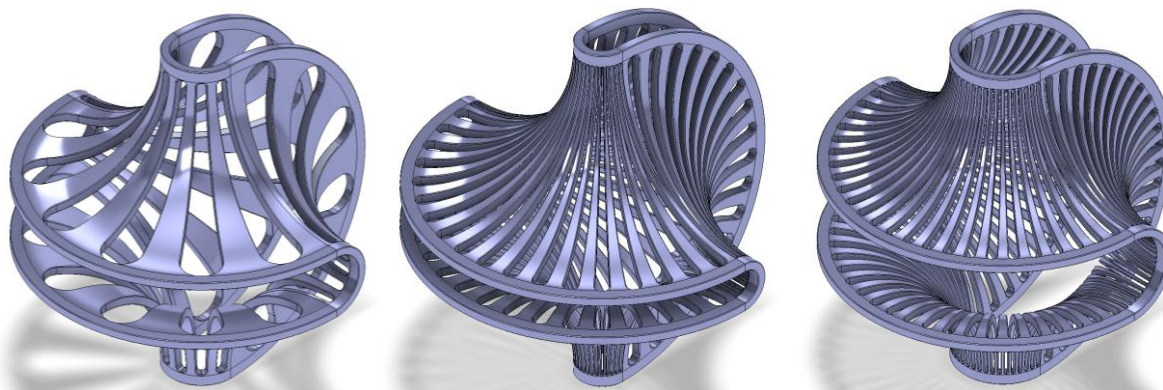


Рис. 10. Параметрична модель структури

Наведена на рис. 10 модель будується в Autodesk Inventor дуже швидко завдяки застосування саме кругового масиву. Первісний елемент цієї моделі будується із застосуванням операції обертання та видавлювання дуже простих ескізів (див. рис. 9). Після створення кругового масиву його елементи віддзеркалюються відносно горизонтальної площини  $Oxy$  (команда "Mirror"). Отримана модель розділяється на дві симетричні частини вертикальною площиною  $Oyz$  (команда "Split"), після чого одна з частин моделі повертається на кут  $90^\circ$  відносно осі  $Ox$  (команда "Move Bodies"). Після цього обидві частини об'єднуються (команда "Combine"). Зміна лише одного параметра, що впливає на геометрію первісного елемента, а також кількості елементів кругового масиву зумовлює наведені на рис. 10 зміни геометрії моделі.

Таким чином, ефективність застосування кругового масиву як засобу параметризації визначається рівнем володіння користувачем відповідними алгоритмами та підходами, а в окремих випадках залежить також від імпровізації та досвіду користувача.

Звичайно, створення параметричної моделі деталі чи вузла потребує додаткових зусиль та часу. Водночас, якщо параметрична модель виробу створена на належному рівні, вона дозволяє швидко отримувати шляхом зміни лише декількох ключових параметрів практично необмежену кількість варіантів конструкторських (дизайнерських) рішень, які можна швидко аналізувати та оптимізувати. У підсумку це забезпечує скорочення термінів проектування завдяки автоматизації.

**Висновки.** В роботі запропоновано й апробовано значну кількість алгоритмів та підходів до формоутворення для створення параметричних моделей в програмі Autodesk Inventor за допомогою кругового масиву. Розглянуто різноманітні методи побудови первісних елементів, які дають можливість суттєво впливати на геометрію моделей при зміні керуючих параметрів. Окреслено ряд геометричних моделей, для яких саме круговий масив може стати ефективним методом параметризації. Отримані результати можуть бути використані конструкторами та дизайнерами, які працюють не тільки в Autodesk Inventor, а у різних інших САД-програмах. Доцільним є застосування наведених результатів в освітньому процесі.

### **Література**

1. Архіпов О.В. Створення параметричних рядів деталей при проектуванні в автомобілебудуванні. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2017. Вип. 9. С. 11–15.
2. Архіпов О.В., Масляєв К.В., Ланцов Д.О. Параметричне комп'ютерне моделювання в дизайні автомобільних вузлів та агрегатів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Київ : КНУБА, 2018. Вип. 94. С. 3–7.
3. Архіпов О.В., Єрмакова О.А., Дзюба В.В. Параметричний підхід до моделювання диска автомобільного колеса. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2019.

- Вип. 16. С. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.33842/2313-125X/2019/16/3/9> .
4. Архіпов О. Особливості застосування програми Autodesk Inventor у промисловому дизайні. *Scientific Collection "InterConf"*. 2023. Vol. 148. P. 466–473. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2865> .
  5. Назарько О.О., Рагулін В.М., Ярижко О.В., Ярита О.О. Використання засобів параметричного моделювання в проєктуванні та дизайні виробів автомобілебудування. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Київ : КНУБА, 2024. Вип. 106. С. 168–177. DOI: <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2024.106.168-177> .
  6. Черніков О.В., Архіпов О.В., Єрмакова О.А., Дзюба В.В. Параметричний підхід до тривимірного комп'ютерного моделювання геометричних орнаментів. *Прикладні питання математичного моделювання*. Херсон : ХНТУ; ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. Т. 3, № 2.2. С. 293–300. DOI: <https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2020.3.2-2.29> .
  7. Lockhart S., Vanach D.T., Markazi S. *Autodesk Inventor 2026 Essentials Plus*. Mission, KS : SDC Publications, 2025. 550 p.

## APPLICATION OF CIRCULAR ARRAY AS A MEANS OF PARAMETERIZATION IN COMPUTER DESIGN

Oleksandr Arkhipov

*Designing modern industrial and household products is becoming increasingly complex and diverse, requiring shorter execution times and optimization of the number of specialists involved. This can be achieved through process automation and the use of computer technologies. In this context, parametric geometric modeling acquires particular importance as an effective tool for engineers and designers.*

*A parametric three-dimensional computer model makes it possible to promptly modify the geometry of a product within a wide range and quickly evaluate its structural, functional, technological, and aesthetic characteristics, which allows identifying the advantages and disadvantages of different design options and finding the optimal solution. In Autodesk Inventor and other modern CAD systems, this is usually implemented by users through parameterization of the relative positioning of work planes, the geometry of generatrices (closed profiles for solid models), and extrusion trajectories. However, there is a significant number of models whose geometry can change substantially or even fundamentally by modifying the parameters of a certain initial element replicated by a circular array, as well as by changing the number of elements in that array.*

*The study includes an analysis of existing approaches and proposes new form-generation algorithms, in which the circular array serves as the basis of model parameterization and enables fundamental changes in its geometry by altering only one or several parameters. For validation, the author constructed*

*in Autodesk Inventor examples of parametric series of models of engineering and household products, as well as elements of geometric ornaments created using the proposed algorithms. Examples are provided of applying the Inventor iLogic function, which allows specifying rules (instructions) at the stage of model creation that directly affect its geometry and can later be edited. Its use additionally increases the diversity of geometric forms that can be obtained on the basis of a single parametric model.*

*The results of the study can be applied in the work of design and engineering bureaus and in the educational process.*

*Keywords: geometric parameterization, circular array, form-generation algorithms, computer modeling, Autodesk Inventor.*

### **References**

1. Arkhipov, O. V. (2017). Creation of parametric series of parts in automotive design. *Suchasni problemy modeliuвання*, 9, 11–15. Melitopol: MDPU im. B. Khmelnytskoho. [In Ukrainian].
2. Arkhipov, O. V., Masliaiev, K. V., & Lantsov, D. O. (2018). Parametric computer modeling in the design of automotive units and assemblies. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*, 94, 3–7. Kyiv: KNUBA. [In Ukrainian].
3. Arkhipov, O. V., Yermakova, O. A., & Dziuba, V. V. (2019). Parametric approach to automobile wheel rim modeling. *Suchasni problemy modeliuвання*, 16, 3–9. Melitopol: MDPU im. B. Khmelnytskoho. <https://doi.org/10.33842/2313-125X/2019/16/3/9> [In Ukrainian].
4. Arkhipov, O. (2023). Features of using Autodesk Inventor software in industrial design. *Scientific Collection "InterConf"*, 148, 466–473. Retrieved from <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2865> [In Ukrainian].
5. Nazarko, O. O., Rahulin, V. M., Yaryzhko, O. V., & Yaryta, O. O. (2024). Application of parametric modeling tools in engineering and design of automotive products. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*, 106, 168–177. Kyiv: KNUBA. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2024.106.168-177> [In Ukrainian].
6. Chernikov, O. V., Arkhipov, O. V., Yermakova, O. A., & Dziuba, V. V. (2020). Parametric approach to three-dimensional computer modeling of geometric ornaments. *Prykladni pytannia matematychnoho modeliuвання*, 3(2.2), 293–300. Kherson: KhNTU; OLDI-PLIuS. <https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2020.3.2-2.29> [In Ukrainian].
7. Lockhart, S., Banach, D. T., & Markazi, S. (2025). *Autodesk Inventor 2026 Essentials Plus*. Mission, KS: SDC Publications, 550 p. [In English].

*Матеріал надійшов до редакції 22. 04. 2026*

*Прийнято до друку 13. 05. 2026 р.*