

к. т. н., доцент **Назарько О.О.**,
olganazamail@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3496-8533

к. т. н., доцент **Рагулін В.М.**,
ragulinrvn@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2083-4937

к. т. н., доцент **Ярижко О.В.**,
yaryzko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6398-8472

доцент **Ярига О.О.**,
aleks.yarita@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4948-6577

Харківський національний автомобільно-дорожній університет (м. Харків)

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОЄКТУВАННІ ТА ДИЗАЙНІ ВИРОБІВ АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ

У статті розглянуто можливості використання САПР Autodesk Inventor Professional при розробці деталей колісно-маточинового вузла. Запропоновано варіанти дизайнерських рішень автомобільного колісного диску та зміни конструкції гальмівного диску на основі виконання тривимірних моделей створених засобами параметричного моделювання.

Питання естетики транспортних засобів та надійності їх елементів є одними із ключових показників конкурентоспроможності виробу. Сучасні способи виробництва дають можливість реалізації унікальних дизайнерських рішень. Так ливарне виробництво дає можливість створення колісних дисків з широким різноманіттям стильових виконань. У роботі запропоновано декілька рішень видозмін початкової моделі колісного диску при сталому діаметрі й ширині ободу.

Дані деталі вузла не мали б завершеного процесу моделювання без шини та тормозного диску. Шини встановлюються на диски та забезпечують рух автомобіля по дорожній поверхні, а гальмівний диск забезпечує кріплення до маточини та процес зупинення транспортного засобу.

В основі параметричного моделювання лежить ідея використання простих примітивів (entities) для представлення складної геометрії виробу, що визначається параметрами (parameters) та зв'язками між ними. Параметри включають координати точок, значення кутів, довжини та радіуси кіл і еліпсів, кількість елементів. Зв'язки між параметрами називаються обмеженнями (constraints).

Важливою умовою точності ескізу є послідовність застосованих обмежень. Аналіз ступенів свободи гарантує, що інженер-конструктор накладає тільки необхідну і достатню кількість обмежень, не дозволяючи системі рівнянь бути перевизначеною (over constrained), і не дозволяючи залишити будь-який ступінь свободи без обмежень.

Надмірне визначення системи рівнянь викликає протиріччя між обмеженнями і система рівнянь стає суперечливою і не має розв'язку. Коли кількість обмежень менша за кількість, необхідну для визначення значень усіх невідомих параметрів, система називається невизначеною (under constraint).

Щоб визначити взаємозв'язок між параметрами моделі, їх потрібно задати у вигляді параметрів або рівнянь.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, параметричні ряди, дизайн виробів автомобілебудування, колісний диск, гальмівний диск, шини.

Постановка проблеми. Параметричне моделювання не є досить широким засобом використання в конструкторській діяльності, здебільшого в цій галузі воно знаходить застосування при створенні групових креслеників на основі незначних видозмін в деяких елементах базової моделі. Більш широкого використання даний метод набуває в дизайнерській діяльності. Слід зауважити, що створення параметричної моделі майбутнього виробу потребує ретельного планування. До переваг такого методу моделювання в системі Autodesk Inventor слід віднести:

- широкі можливості зміни базової геометрії для отримання бажаного результату;
- підвищення ефективності моделювання;
- миттєвий контроль вихідної геометрії при візуалізації моделі;
- пошук оптимальних рішень, особливо при роботі над новими проектами.

В основі параметричного моделювання лежить ідея взаємозв'язку між вихідними примітивами такими як координати точок, значення кутів, довжини та радіуси кіл і еліпсів тощо. Для інженера-конструктора такими обмеженнями є найпростіші геометричні фігури – розміри точок, ліній, кількість елементів, кіл та еліпсів – і геометричні відношення, такі як збіг, паралельність, перпендикулярність, дотичність і тощо. При такому підході процес побудови ескізу зводиться до створення попереднього начерку контурів об'єкта і накладання таких обмежень, які однозначно визначають значення всіх параметрів примітиву. Перевагою такого підходу є те, що інженеру не потрібно визначати точні координати всіх об'єктів. Достатньо лише задати геометричні співвідношення між об'єктами, а роботу з обчислення координат отриманих об'єктів виконує вирішувач геометричних обмежень (geometric constraint solver), який складає основу параметричного підходу до моделювання. Саме наявність таких вирішувачів відрізняє параметричні САПР від інших систем.

Важливою умовою точності ескізу є послідовність застосованих залежностей. Якщо застосовано менше залежностей, ніж необхідно, деякі параметри не можуть бути визначені однозначно і можуть варіюватися в певному діапазоні значень.

Надмірне визначення системи рівнянь небезпечно тим, що рішення такої системи не може бути знайдено, і це не викликатиме видимих проблем доти, доки інженер не змінить значення одного з конфліктуючих обмежень. У цьому випадку виникає протиріччя між залежностями і система рівнянь стає суперечливою і не має розв'язку.

Якщо кількість обмежень менша за кількість, необхідну для визначення значень усіх невідомих параметрів, система називається невизначеною (under constraint). У компонентному проектуванні це небезпечна ситуація, яка може спричинити проблеми з відображенням бажаної моделі.

Щоб визначити взаємозв'язок між параметрами ескізу, їх потрібно задати у вигляді параметрів або рівнянь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання використання параметричних рядів при проектуванні виробів автомобілебудування [1, 2], а також пропозиції щодо створення багатоваріантної геометрії моделі колісного диску розглядалися в роботах [3]. Слід зазначити, що використання методу параметричного моделювання при створенні ряду моделей конкретного виробу має широкий діапазон зміни опорної геометрії, яка визначає отримання бажаного результату як з точки зору конструкції, так і дизайну.

Даний прийом розглядається також у таких напрямках, як машинобудування [4, 5], літакобудування [6], сучасній архітектурі та містобудуванні [7]. Підготовка сучасних фахівців базується на використанні основних систем САД, САМ та САЕ [8–13] які у свою чергу ґрунтуються на параметричних взаємозв'язках [14].

Стаття присвячена розгляду особливостей параметричного моделювання, як основного напрямку в сучасному підході до створення 3D-моделей та дизайну, застосованому у машинобудуванні і інших галузях. Цей напрямок базується на інформаційних технологіях та нових провадженнях форм та концепцій.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є розробка дизайну колісного диску автомобіля та конструкції моделі гальмівного диску засобами Autodesk Inventor Professional на основі застосування параметричних рядів для отримання моделей виробу в декількох виконаннях.

Основна частина. Широкі можливості використання САПР дають змогу отримати найрізноманітніші за формою моделі виробу на основі зміни основних параметрів геометрії початкового ескізу. Не є новиною, що окрім функціональних властивостей, конструкція певних виробів автомобілебудування має задовольняти естетичним вимогам сучасності. Так питання розробки дизайну елементів конструкції, обумовлене прагненням споживачів до отримання ексклюзивного виробу, що є своєрідною «прикрасою» автомобіля.

Так запропоновані в даній роботі композиційні рішення моделі автомобільного диску базувалися на зміні геометрії спиці колеса. Подібний алгоритм моделювання було запропоновано в роботі [3]. Принциповою відмінністю є параметризація деяких вихідних елементів ескізу спиці та ескізу форми її поперечного перерізу (рис.1), що в подальшому дало змогу отримати різні варіанти моделі (рис.2).

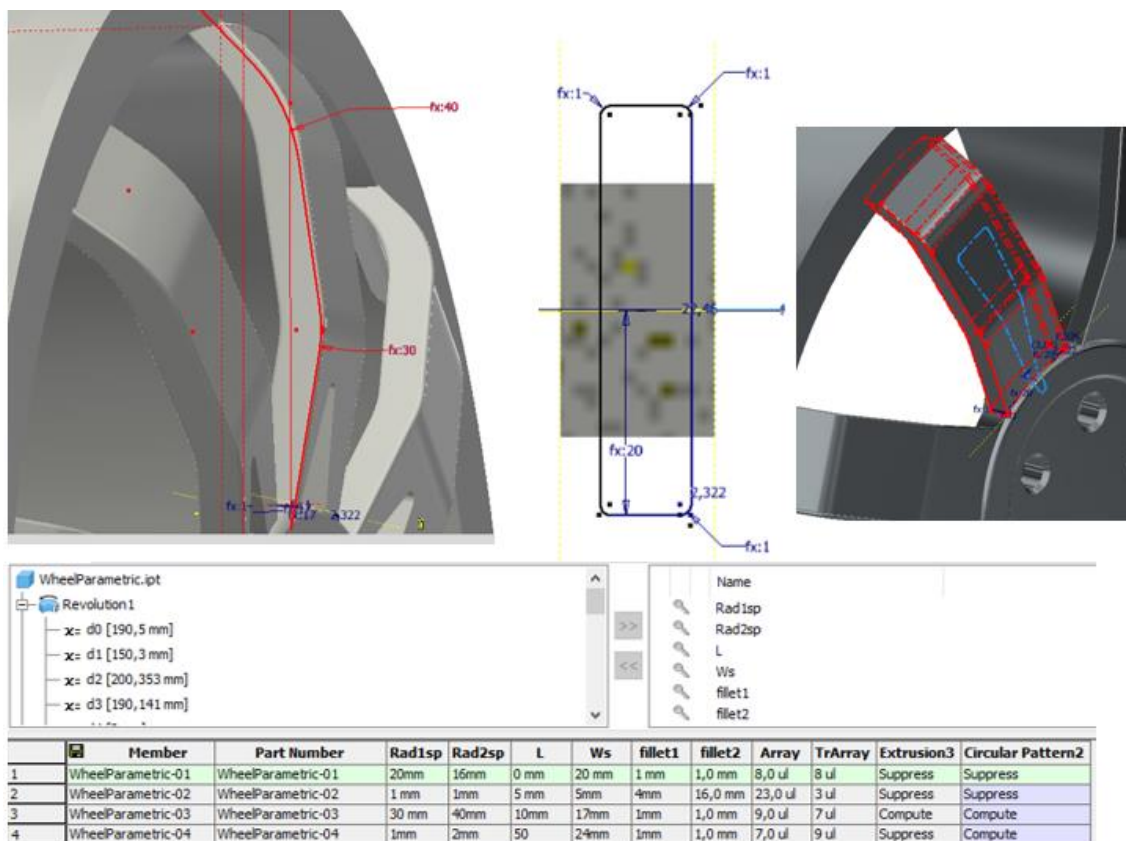


Рис.1. Форма вихідної геометрії спиці та параметри моделі

Так зміна радіусу спряжень в ескізі спиці дає змінювати її форму в повздовжньому напрямку. Змінна геометрія поперечного перерізу та параметризація кількості елементів масиву, що визначає кількість спиць та наявність отворів складної форми в значній мірі вплинула на подальшу 3D модель диску (рис. 2).

Виконання параметричної моделі гальмівного диску передбачало попередній аналіз геометрії застосованих існуючих конструкцій, з врахуванням матеріалів та умов роботи у вузлі. Так в якості вихідної моделі був прийнятий суцільний диск. В якості змінних параметрів при створенні параметричних рядів деталі було враховано кількість та діаметр розташування кріпильних отворів, діаметри робочої, маточинної та центральної частин диску і відповідно їх ширина. Також враховано наявність перфорації робочої поверхні (рис.3).



Рис.2. Отримані при зміні параметрів моделі колісного диску



Рис. 3. Отримані параметричні моделі гальмівного диску

Отримані моделі не мали б завершеного процесу складання вузла без шини, котра встановлюється на диски та забезпечує рух автомобіля по поверхням (рис.4)..



Рис.4. Отримані при зміні параметрів моделі колісного диску:
195/50R15; 195/60R15; 195/70R15; 265/70R15

Висновки та перспективи. Застосування параметричного моделювання дозволяє скоротити витрати часу на проектування та забезпечує багатоваріантність геометричних рішень в процесі розробки дизайну моделей. В конструкторській діяльності, окрім вищезазначених переваг, даний спосіб дає змогу отримання типових виробів.

Список літератури

1. *Архінов О.В.* Створення параметричних рядів деталей при проектуванні в автомобілебудуванні. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць.* Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2017. Вип. 9. С. 11–15.
2. *Архінов О.В., Масляев К.В., Ланцов Д.О.* Параметричне комп'ютерне моделювання в дизайні автомобільних вузлів та агрегатів *Міжсвідомчий*

науково-технічний збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”. Київ, 2018. Випуск 94. С. 3–7.

3. *Архіпов О.В., Єрмакова О.А., Дзюба В.В.* Параметричний підхід до моделювання диска автомобільного колеса. *Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць*. Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2019. Вип. 16. С. 3–9.

4. *Ванін В. В., Вірченко Г. А., Яблонський П. М.* Теоретичні основи структурно-параметричного геометричного моделювання виробів машинобудування [Електронний ресурс]: монографія; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,07 Мб; 18,6 авт. арк.). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 223 с.

5. *Вірченко Г. А.* Деякі питання комп’ютерного структурно-параметричного конструювання вузлів літака. *Інформаційні системи, механіка та керування*. Вип. 1. Київ: НТУУ “КПІ”, 2008. С. 70–76.

6. *Вірченко Г. А., Ванін Віт. В., Вірченко В. Г.* Структурно-параметричне твердотільне геометричне моделювання стояків планера літака. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Вип. 4. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Т. 37. Мелітополь: ТДАТУ, 2008. С. 83–91.

7. *Бармашина Л.М.* Параметрична парадигма урбанізму *East European Scientific Journal*, #3/(43), 2019, 4–8.

8. *Назарько О.О., Рагулін В.М., Ярижко О.В., Грицина Н.І.* Особливості організації освітнього процесу для здобувачів інженерно-технічних спеціальностей при дистанційній формі навчання на прикладі курсу-ресурсу «комп’ютерна графіка» *Міжвідомчий науково-технічний збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”*. Випуск 104. Київ, 2023. С. 127–137.

9. *Райковська Г. О.* Шляхи вдосконалення підготовки фахівців машинобудівної галузі *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. - № 2. - С. 111-116.

10. *Рагулін В.М., Ярижко О.В., Назарько О.О.* Комп’ютерне моделювання як метод та засіб удосконалення будівельних машин *Міжвідомчий науково-технічний збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”*. Випуск 102. Київ, 2022. С. 181–187. DOI: 10.32347/0131-579x.2022.102.181–187

11. *Ярижко О.В., Рагулін В.М., Єфремов О.В., Зятюк А.І.* Комп’ютерне моделювання силової взаємодії елементів робочого устаткування навантажувача *Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference «A substantive representation of the system of scientific knowledge»*, March 27 – 28, 2023 Riga, Latvia by the «InterSci», 2023. P. 88–90.

12. *Назарько О.О., Рагулін В.М., Ярижко О.В., Зайцев І.С.* Дослідження аеродинаміки спорткару при використанні методу комп’ютерного моделювання *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2022. Вип. 99. С. 146–150.

13. *Назарько О.О., Рагулін В.М., Зайцев І.С.* Використання методу комп’ютерного моделювання при дослідженні обтічності легкового автомобіля обладнаного аеродинамічними елементами *Сучасні проблеми*

моделивання: Збірник наукових праць. Випуск 22. Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2021. С. 104-110.

14. Білицька Н.В., Гетьман О.Г., Ляхор Д.О., Стефанович А.В. Деякі питання параметризації у системі Компас-3D Міжвідомчий науково-технічний збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”. Випуск 100. Київ, 2021. С. 47–57.

References

1. Arkhipov O.V. Stvorennia parametrychnykh riadiv detalei pry proektuvanni v avtomobilebuduvanni. // *Suchasni problemy modeliuвання: zb. nauk. prats. Melitopol* : MDPU im. B. Khmelnytskoho, 2017. Vyp. 9. p. 11–15. {in Ukrainian}.
2. Arkhipov O.V. Masliaiev K.V., Lantsov D.O. Parametrychne kompiuterne modeliuвання v dyzaini avtomobilnykh vuzliv ta ahrehativ *Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk* // “Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika”. Vypusk 94. Kyiv, 2018. p. 3–7. {in Ukrainian}.
3. Arkhipov O.V., Yermakova O.A., Dziuba V.V. Parametrychnyi pidkhyd do modeliuвання dyska avtomobilnoho kola. // *Suchasni problemy modeliuвання: zb. nauk. prats. Melitopol* : MDPU im. B. Khmelnytskoho, 2019. Vyp. 16. p. 3–9. {in Ukrainian}.
4. Vanin V. V., Virchenko H. A., Yablonskyi P. M Teoretychni osnovy strukturno-parametrychnoho heometrychnoho modeliuвання vyrobiv mashynobuduvannya [Elektronnyi resurs]: *monohrafiia; KPI im. Ihoria Sikorskoho. – Elektronni tekstovi dani* (1 fail: 9,07 Mb; 18,6 avt. ark.). – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. – 223 p. {in Ukrainian}.
5. Virchenko H. A. Deiaki pytannia kompiuternoho strukturno-parametrychnoho konstruiuvannya vuzliv litaka. // *Informatsiini systemy, mekhanika ta keruvannya*. Vyp. 1. Kyiv: NTUU “KPI”, 2008. p. 70–76. {in Ukrainian}.
6. Virchenko H. A., Vanin Vit. V., Virchenko V. H. Strukturno-parametrychne tverdотilne heometrychne modeliuвання stoiakiv planera litaka. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu*. Vyp. 4. Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika. T. 37. Melitopol: TDATU, 2008. p. 83–91. {in Ukrainian}.
7. Barmashyna L.M. Parametrychna paradyhma urbanizmu // *East European Scientific Journal*, #3/(43), 2019, p.4–8. {in Ukrainian}.
8. Nazarko O.O., Ragulin V.M, Yaryzhko O.V., Hrytsyna N.I. Osoblyvosti orhanizatsii osvithnoho protsesu dlia zdobuvachiv inzhenerno-tekhnichnykh spetsialnostei pry dystantsiinii formi navchannya na prykladi kursu-resursu «kompiuterna hrafika» // *Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk “Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika”*. Vypusk 104. Kyiv, 2023. p. 127–137. {in Ukrainian}.
9. Raikovska H. O. Shliakhy vdoskonalennia pidhotovky fakhivtsiv mashynobudivnoi haluzi // *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. 2019. - № 2. - p. 111-116. {in Ukrainian}.

10. *Ragulin V.M., Yaryzhko O.V., Nazarko O.O.* Kompiuterne modeliuвання yak metod ta zasib udoskonalennia budivelnykh mashyn // *Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk "Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika"*. Vypusk 102. Kyiv, 2022. p. 181–187 DOI: 10.32347/0131-579x.2022.102.181–187 {in Ukrainian}.
11. *Yaryzhko O.V., Ragulin V.M., Yefremov O.V., Ziatiuk A.I.* Kompiuterne modeliuвання sylovoi vzaiemodii elementiv robochoho ustatkuvannia navantazhuvacha // *Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference «A substantive representation of the system of scientific knowledge»*, March 27 – 28, 2023 Riga, Latvia by the «InterSci», 2023. P. 88–90. {in Ukrainian}.
12. *Nazarko O.O., Ragulin V.M., Yaryzhko O.V., Zaitsev I.S.* Doslidzhennia aerodynamiky sportkaru pry vykorystanni metodu kompiuternoho modeliuвання // *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*. 2022. Vyp. 99. P. 146–150 {in Ukrainian}.
13. *Nazarko O.O., Ragulin V.M., Zaitsev I.S.* Vykorystannia metodu kompiuternoho modeliuвання pry doslidzhenni obtichnosti lehkovoho avtomobilia obladnanoho aerodynamichnymy elementamy // *Suchasni problemy modeliuвання: Zbirnyk naukovykh prats*. Vypusk 22. Melitopol : MDPU im. B. Khmelnytskoho, 2021. P. 104-110 {in Ukrainian}.
14. *Bilytska N.V., Hetman O.H., Liakhor D.O., Stefanovych A.V.* Deiaki pytannia parametryzatsii u systemi Kompas-3D // *Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk "Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika"*. Vypusk 100. Kyiv, 2021. p. 47–57. {in Ukrainian}.

Ph. D., assoc. prof **Olga Nazarko**,

olganazamail@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3496-8533

Ph. D., assoc. prof **Vitaliy Ragulin**,

ragulinrvn@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2083-4937

Ph. D., assoc. prof **Oleksandr Yaryzhko**,

yaryzko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6398-8472

assoc. prof **Oleksandr Yaryta**,

aleks.yarita@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4948-6577

Kharkiv National Automobile and Highway University (KhNAHU, Kharkiv)

USE OF PARAMETRIC MODELING TOOLS IN PROJECTING AND DESIGN OF AUTOMOTIVE PRODUCTS

This article discusses the possibilities of using CAD Autodesk Inventor Professional in the development of parts of the wheel-hub unit. Variants of design solutions of the automobile wheel disc and changes in the design of the brake disc based on the execution of three-dimensional models created by means of parametric modeling are proposed.

The issue of the aesthetics of vehicles and the reliability of their elements are one of the key indicators of product competitiveness. Modern production methods make it possible to implement unique design solutions. Thus, foundry production makes it possible to create wheel rims with a wide variety of styles. The paper proposes several solutions for modifying the initial model of a wheel disc with a constant rim diameter and width.

These assembly details would not have completed the modeling process without the tire and brake disc. Tires are installed on rims and ensure the movement of the car on the road surface, and the brake disc provides attachment to the hub and the process of stopping the vehicle.

Parametric modeling is based on the idea of using simple primitives to represent the complex geometry of the product, which is determined by parameters and connections between them. Parameters include coordinates of points, values of angles, lengths and radii of circles and ellipses, number of elements. Connections between parameters are called constraints.

An important condition for the accuracy of the sketch is the consistency of the applied constraints. Analysis of the degrees of freedom ensures that the design engineer imposes only the necessary and sufficient number of constraints, not allowing the system of equations to be over-constrained, and not allowing any degree of freedom to be left unconstrained.

Overdetermining the system of equations causes a contradiction between the constraints and the system of equations becomes contradictory and has no solution. When the number of constraints is less than the number required to determine the values of all unknown parameters, the system is called under-constrained.

To determine the relationship between model parameters, they must be specified as parameters or equations.

Keywords: computer modeling, parametric series, design of automotive products, wheel disc, brake disc, tires.