

д. т. н., професор **Вірченко Г.А.**,

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

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

викладач **Линок Н.М.**,

nazar.linok@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4489-2472

Національний університет оборони України

імені Івана Черняхівського

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ЗАСОБАМИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Сучасне життя людей характеризується постійною взаємодією з різними технічними системами. Це багатоманітні будівлі (житлові, промислового й соціального призначення), засоби транспорту (автомобілі, кораблі, літаки), виробниче обладнання, побутова техніка (телевізори, комп'ютери, телефони, пральні машини, холодильники) і т. д.

До наведених об'єктів висувається значне число вимог, досить часто суперечливих, як окремого, так і загального характеру. Перші враховують специфіку даних виробів, а другі універсальні за своєю суттю. Відповідними прикладами можуть слугувати нерухомість споруд, гарна керованість транспорту, точність обладнання, якісні зображення телевізорів, комп'ютерів тощо. Це, з одного боку. З іншого – висока надійність, тривалий термін експлуатації, невелика вартість і т. д.

В основі функціонування технічних об'єктів лежать процеси найрізноманітнішої природи. Але при цьому в них є і спільні властивості. До таких відносяться геометричні параметри форми, розмірів, положення та час. Іншими словами, усе оточуюче нас розташовується у просторі та відбувається в часі. Таке розлоге теоретичне обґрунтування зроблено для підтвердження базової узагальнюючої ролі геометричних моделей, у тому числі й динамічних, при сучасному автоматизованому розроблянні багатьох видів промислової продукції. Як свідчить поданий вище матеріал, пошук оптимальних варіантів виробів, компромісних для наявних суперечливих вимог, становить нині актуальну проблему суспільного розвитку.

Одним із прогресивних напрямків комп'ютерного геометричного моделювання, що розроблений науковою школою КПІ імені Ігоря Сікорського, є структурно-параметричне формоутворення. Ця методологія доволі універсальна, продуктивно застосовується в авіаційній галузі, впроваджена в загальне машинобудування, нафтопереробну промисловість, при виготовленні композитних матеріалів, починає

адаптуватись до потреб будівництва. Головна мета даної публікації полягає в розширенні сфери використання зазначеного підходу завдяки подальшому розвитку певних його теоретичних положень.

Ключові слова: автоматизоване проектування; виробничі технічні системи; комп'ютерні інформаційні технології; оптимізація; структурно-параметричне моделювання.

Постановка проблеми. Нині автоматизоване проектування широко застосовується при розроблянні багатьох технічних об'єктів. При цьому основою значного числа застосовуваних комп'ютерних інформаційних систем є геометричні засоби моделювання. Ефективність останніх суттєвим чином визначає якість опрацьовуваної промислової продукції. Тому подальше вдосконалення відповідного математичного апарату становить актуальну науково-прикладну проблему.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Базові теоретичні положення структурно-параметричного геометричного моделювання подано у працях [1, 2]. Використання цієї методології для проектування та оптимізації різноманітної промислової продукції і процесів її виготовлення викладено у виданнях [3–10]. Це машинобудування [3, 4], нафтогазова промисловість [5], авіаційна галузь [6, 8], композитні матеріали [7], архітектура й будівництво [9, 10]. Певні питання узагальнення зазначеного підходу містить дослідження [11]. З точки зору теорії оптимізації в наведених публікаціях, як правило, розглядаються окремі об'єкти та процеси їх виготовлення. При цьому не аналізується вплив на них різних варіантів виробничих технічних систем, тобто оптимального управління у вигляді належних науково-дослідницьких, проектно-конструкторських, організаційно-економічних та інших заходів.

Цілі та завдання статті. Мета публікації полягає у викладенні концептуальних теоретичних засад стосовно застосування під час автоматизованого проектування структурно-параметричного моделювання для оптимізації виробничих технічних систем.

Основна частина. Згідно з працею [1] довільний проектований об'єкт або процес подається множиною

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

де o_i – його елементи, N – їх кількість.

Можливі різновиди o_i відтворюються кортежем варіантів

$$o_i = (o_{ij})_1^{N_{o_i}}, \quad (2)$$

де N_{o_i} – число останніх, та векторами параметрів

$$P_{ij} = (p_{ijk})_1^{N_{p_{ij}}}, \quad (3)$$

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

Структурний зв'язок між різновидами n -го та m -го елемента об'єкта O відображають матриці суміжності

$$C_{nm} = \|c_{nr} c_{ms}\|, \quad (4)$$

де r, s – натуральні числа; $r \in (1, \dots, N_n), s \in (1, \dots, N_m)$; N_n, N_m – відповідно число варіантів n -го та m -го елемента; $c_{nr} c_{ms} \neq 0$ при взаємодії різновидів o_{nr} та o_{ms} , $c_{nr} c_{ms} = 0$ – у протилежному випадку.

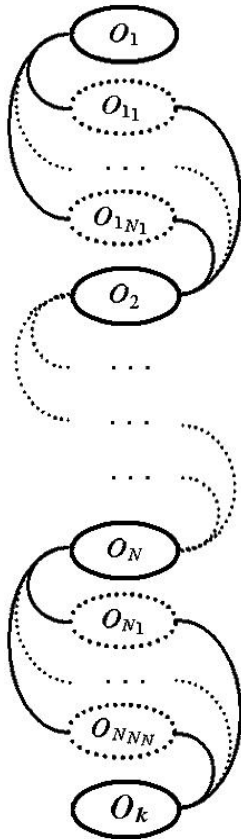


Рис. 1. Граф синтезу об'єкта O

З використанням виразів (1) ... (4) процес синтезу об'єкта O подається у вигляді зображеного на рис. 1 графа.

Вершини – це елементи (1), ребра – параметричні моделі (2) зі значеннями (3). Порядок вершин визначає послідовність створення об'єкта. На основі матриць (4) одержуємо множину його проектних варіантів

$$O = (O_k)_1^{No}. \quad (5)$$

Наведений граф, зазвичай, має кратні ребра, довжиною яких є величини певних параметрів і функцій оптимізації.

При розроблянні технічного об'єкта або процесу ймовірно використання кількох моделей, показаного на рис. 1 вигляду, що різняться складом і послідовністю елементів. У наведених вище літературних джерелах під час опрацювання промислової продукції, як правило, здійснювалася оптимізація режимів виготовлення, оснащення та інструмента без варіювання технологічних маршрутів. Останнє обумовлено більш значними змінами

суттєвих результатів оптимізації можна досягти розв'язанням задач не локального, а вищого рівня. Мається на увазі технічне підготування виробництва в широкому розумінні цього терміна, що включає проведення науково-прикладних досліджень стосовно вдосконалення технологій на базі принципово нових процесів, використання сучасного продуктивного обладнання, впровадження необхідних організаційно-економічних та інших заходів.

Приведені фактори доволі різноманітні, а головне – не завжди забезпечують бажані результати, часто потребують додаткових витрат багатьох ресурсів. У таких умовах доволі корисне автоматизоване проектування виробничих технічних систем на основі комп'ютерних інформаційних технологій, що дозволяє ефективно оцінити розглянуті аспекти. Ці засоби ґрунтуються на належних математичних описах, якість яких значною мірою впливає на успішність виконуваної оптимізації.

Одними з таких є структурно-параметричні геометричні моделі.

Проаналізовані на початку статті видання свідчать про інтегруючу та узагальнюючу роль цих моделей по відношенню до інших, наприклад, міцності, технологічних, економічних та ін. Також вагома їх перевага полягає в реалізації відповідної оптимізації проєктованих об'єктів.

Критеріями доцільності впровадження модифікацій для виробничих технічних систем слугують покращення якості продукції, зменшення собівартості її виготовлення, експлуатаційних витрат і т. д. Окреслені властивості кількісно оцінюються деякою цільовою функцією оптимізації. Тоді, із застосуванням структурно-параметричного моделювання в середовищі комп'ютерних інформаційних технологій, для кожного з варіантів змін отримуємо впорядковану за величинами цієї функції множину вигляду (5). Остання також відтворюється графом рис. 2.

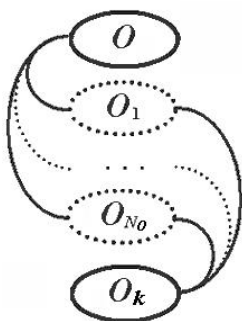


Рис. 2. Граф варіантів об'єкта O

Ці кортежі об'єднуються в один аналогічний спільний. Отже, маємо зручну для проведення аналізу форму, що за своїм змістом наочно відображує результати виконаної структурно-параметричної оптимізації.

Зауважимо, що при цьому завершальна множина містить упорядковані за величиною цільової функції варіанти, які різняться, в загальному випадку, не тільки параметрами своїх елементів, а також їх складом і послідовністю використання.

Розглянуті дані пристосовані для прийняття управлінських рішень щодо найбільш доцільних модифікацій опрацьовуваної виробничої технічної системи. Математичний апарат оптимізації за допомогою графів, наприклад метод індексації вершин, наведено в роботі [2].

Висновки та перспективи. Поданим матеріалом започатковано новий напрямок наукових розвідок із застосування структурнопараметричного моделювання як засобу оптимального керування виробчими технічними системами. Перспективами подальших досліджень є напрацювання належних способів, алгоритмів і методик, їх реалізація в середовищі сучасних комп'ютерних інформаційних технологій, практичне впровадження отриманих результатів.

Література

1. 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.
2. Вірченко Г.А. Узагальнення структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання об'єктів машинобудування: дис. ... докт. техн. наук. Київ: НТУУ "КПІ", 2011. 357 с.
3. Вірченко Г. Використання геометричних методів апроксимації для розв'язування задач параметричної оптимізації в машинобудуванні.

Машинознавство. 2010. № 6. С. 23–27.

4. *Вірченко Г.* Застосування комп'ютерних структурно-параметричних геометричних моделей для раціонального проектування технологічних процесів у машинобудуванні. *Машинознавство*. 2010. № 7. С. 34–37.

5. *Вірченко Г.А., Грязнова Г.П.* Использование структурно-параметрического моделирования при проектировании нефтеперерабатывающего оборудования. *Наука в нефтяной и газовой промышленности*. 2010. № 4. С. 11–14.

6. *Ванін В.В., Вірченко Г.А.* Структурно-параметричні геометричні моделі як засіб інтеграції автоматизованого проектування сучасного літака. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2014. Вип. 3 (50). С. 571–574.

7. *Kolosov A.E., Virchenko G.A., Kolosova E.P., Virchenko G.I.* Structural and Technological Design of Ways for Preparing Reactoplastic Composite Fiber Materials Based on Structural Parametric Modeling. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2015. Vol. 51. Issue 7. P. 493–500.

8. *Vanin V., Virchenko G., Virchenko S., Nezenko A.* Computer variant dynamic forming of technical objects on the example of the aircraft wing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 6/7. P. 67–73. doi: 10.15587/1729-4061.2017.117664

9. *Регіда О.В.* Структурно-параметричне геометричне моделювання опоряджувальних робіт житлового будинку садибного типу. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2020. Том 3, № 2.2 С. 235–242. doi: 10.32782/KNTU2618-0340/2020.3.2-2.23

10. *Терещук М.О.* До питання архітектурно-будівельної адаптації структурно-параметричного формоутворення. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2020. Вип. 99. С. 190–199. doi: 10.32347/0131-579x.2020.99.190-

11. *Ванін В.В., Вірченко Г.А., Яблонський П.М.* До питання узагальнення структурно-параметричного формоутворення технічних об'єктів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2020. Вип. 99. С. 56–64. doi: 10.32347/0131-579x.2020.99.56-64

References

1. *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}

2. *Virchenko G.A.* Uzahalnennia strukturno-parametrychnoho pidkходу do heometrychnoho modeliuvannia ob'ektiv mashynobuduvannia: dys. ... dokt. tekhn. nauk. Kyiv: NTUU "KPI", 2011. 357 s. {in Ukrainian}

3. *Virchenko G.* Vykorystannia heometrychnykh metodiv aproksymatsii dlia rozviazuvannia zadach parametrychnoi optymizatsii v mashynobuduvanni. *Mashynoznavstvo*. 2010. № 6. S. 23–27. {in Ukrainian}

4. *Virchenko G.* Zastosuvannia kompiuternykh strukturno-parametrych-nykh heometrychnykh modeli dlia ratsionalnogo proektuvannia tekhnolohichnykh protsesiv u mashynobuduvanni. *Mashynoznavstvo*. 2010. № 7. S. 34–37. {in Ukrainian}
5. *Virchenko G.A., Gryaznova G.P.* Ispolzovanie strukturno-parametricheskogo modelirovaniya pri proektirovanii neftepereraba-tyivayushego oborudovaniya. *Nauka v neftyanoy i gazovoy promyshlennosti*. 2010. № 4. S. 11–14. {in Russian}
6. *Vanin V.V., Virchenko G.A.* Strukturno-parametrychni heometrychni modeli yak zasib intehratsii avtomatyzovanoho proektuvannia suchasnoho litaka. *Visnyk Khersonskoho natsionalnogo tekhnichnoho universytetu*. 2014. Vyp. 3 (50). S. 571–574. {in Ukrainian}
7. *Kolosov A.E., Virchenko G.A., Kolosova E.P., Virchenko G.I.* Structural and Technological Design of Ways for Preparing Reactoplastic Composite Fiber Materials Based on Structural Parametric Modeling. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2015. Vol. 51. Issue 7. P. 493–500. doi: 10.1007/s10556-015-0075-3 {in English}
8. *Vanin V., Virchenko G., Virchenko S., Nezenko A.* Computer variant dynamic forming of technical objects on the example of the aircraft wing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 6/7. P. 67–73. doi: 10.15587/1729-4061.2017.117664 {in English}
9. *Regida O.V.* Strukturno-parametrychne heometrychne modeliuвання oporiadzhuvannykh robot zhytlovoho budynku sadybnoho typu. *Prykladni pytannia matematychnoho modeliuвання*. 2020. Tom 3, № 2.2 S. 235–242. doi: 10.32782/KNTU2618-0340/2020.3.2-2.23 {in Ukrainian}
10. *Tereschuk M.O.* Do pytannia arkhitekturno-budivelnoi adaptatsii strukturno-parametrychnoho formoutvorennia. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*. 2020. Vyp. 99. S. 190–199. doi: 10.32347/0131-579kh.2020.99.190- {in Ukrainian}
11. *Vanin V.V., Virchenko G.A., Yablonskyi P.M.* Do pytannia uzahalnennia strukturno-parametrychnoho formoutvorennia tekhnichnykh obektiv. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*. 2020. Vyp. 99. S. 56–64. doi: 10.32347/0131-579kh.2020.99.56-64 {in Ukrainian}

д. т. н., профессор **Вирченко Г.А.**,
kpivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

преподаватель **Линок Н.М.**,
nazar.linok@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4489-2472
Национальный университет обороны Украины
имени Ивана Черняховского

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СРЕДСТВАМИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Современная жизнь людей характеризуется постоянным взаимодействием со всевозможными техническими системами. Это различные здания (жилые, промышленного и социального назначения), транспортные средства (автомобили, корабли, самолеты), производственное оборудование, бытовая техника (телевизоры, компьютеры, телефоны, стиральные машины, холодильники) и т. д.

К приведенным объектам выдвигается значительное число требований, зачастую противоречивых, как частного, так и общего характера. Первые учитывают специфику данных изделий, а вторые универсальны по своей сути. Соответствующими примерами могут служить неподвижность сооружений, хорошая управляемость транспорта, точность оборудования, качественные изображения телевизоров, компьютеров и пр. Это, с одной стороны. С другой – высокая надежность, длительный срок эксплуатации, небольшая стоимость и т. д.

В основе функционирования технических объектов лежат процессы разнообразной природы. Но при этом у них есть и общие свойства. К таким относятся геометрические параметры формы, размеров, положения и время. Иными словами, все окружающее нас располагается в пространстве и происходит во времени. Такое обширное теоретическое обоснование сделано для подтверждения базовой обобщающей роли геометрических моделей, в том числе и динамических, при современной автоматизированной разработке многих видов промышленной продукции. Как свидетельствует представленный выше материал, поиск оптимальных вариантов изделий, компромиссных для имеющихся противоречивых требований, составляет сейчас актуальную проблему общественного развития.

Одним из прогрессивных направлений компьютерного геометрического моделирования, разработанного научной школой КПИ имени Игоря Сикорского, является структурно-параметрическое формообразование. Эта методология довольно универсальна, продуктивно применяется в авиационной отрасли, внедрена в общее машиностроение, нефтеперерабатывающую промышленность, при изготовлении композитных материалов, начинает адаптироваться к потребностям строительства. Главная цель данной публикации заключается в расширении сферы использования указанного подхода благодаря дальнейшему развитию определенных его теоретических положений.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование; производственные технические системы; компьютерные информационные технологии; оптимизация; структурно-параметрическое моделирование.

Doctor of Technical Sciences, Professor **Gennadii Virchenko**,
kpivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Teacher **Nazar Lynok**,
nazar.linok@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4489-2472
National Defense University of Ukraine
named after Ivan Chernyakhovsky

OPTIMIZATION OF PRODUCTION TECHNICAL SYSTEMS BY MEANS OF STRUCTURAL-PARAMETRIC MODELING

The modern life of people is characterized by constant interaction with various technical systems. These are various buildings (residential, industrial and social purposes), means of transport (cars, ships and planes), production equipment, household appliances (television sets, computers, telephones, washing machines, and refrigerators), etc.

A significant number of requirements, often contradictory, both individual and general, are made to the above objects. The first take into account the specifics of these products, and the second are universal in nature. Relevant examples are the immobility of structures, good transport controllability, accuracy of equipment, high-quality images of TVs, computers, etc. This is on the one hand. On the other hand, high reliability, long service life, low cost, etc. The operation of technical facilities is based on processes of various natures. But they also have common properties. These include geometric parameters of shape, size, position and time. In other words, everything around us is located in a certain space and happens in time. Such an extensive theoretical foundation was made to confirm the basic generalizing role of geometric models, including dynamic ones, in the modern automated development of many types of industrial products. The material presented above shows that the search of optimal variants, which are compromise for the existing conflicting requirements, of various technical objects is now an urgent problem of social development.

One of the progressive directions of computer geometric modeling, developed by the scientific school of the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, is structural-parametric shaping. This methodology is quite universal, it is productively applied in the aviation industry, it has been introduced into general mechanical engineering, the oil refining industry, in the manufacture of composite materials, and begins to adapt to the needs of construction. The main purpose of this publication is to expand the scope of this approach through the further development of some of its theoretical provisions.

Keywords: computer-aided design; production technical systems, computer information technologies; optimization; structural-parametric modeling.