

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ВІРЧЕНКО ГАЛИНА ІВАНІВНА

УДК 514.18

**ВАРІАНТНЕ ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ
МЕТОДОМ ПОЛПАРАМЕТРИЗАЦІЇ**

05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Ванін Володимир Володимирович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»
(м. Київ) МОН України,
декан фізико-математичного факультету

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор
Куценко Леонід Миколайович,
Національний університет
цивільного захисту України (м. Харків) ДСНС України,
професор кафедри інженерної та
аварійно-рятувальної техніки;

- кандидат технічних наук
Захарова Тетяна Миколаївна,
Сумський національний
аграрний університет (м. Суми) МОН України,
доцент кафедри проектування технічних систем

Захист відбудеться ” ____ ” _____ 201 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.06 при Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, КНУБА, Вчена рада університету, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, КНУБА.

Автореферат розісланий ” ____ ” _____ 201 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. А. Бондар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Матеріальний прогрес сучасного суспільства спирається на успішний розвиток різноманітних технічних засобів. Один із перспективних напрямків у цьому плані становлять комп'ютерні інформаційні технології, які для ефективного опрацювання промислової продукції застосовуються у вигляді систем автоматизованого проектування (САПР). Невід'ємним компонентом САПР є геометричне моделювання, що реалізує не тільки продуктивну візуалізацію об'єктів, які розробляються, а й можливість проведення їх комплексної оптимізації. Зазначена властивість базується на тому, що геометричні моделі забезпечують узгоджену взаємодію фахівців різних спеціальностей під час проектування літаків, автомобілів, суден, приладів, верстатів, будівель тощо.

Актуальність теми даного наукового дослідження обумовлена потребами практики в подальшому розвитку варіантного геометричного моделювання технічних об'єктів шляхом удосконалення способів їх автоматизованих побудов.

Під варіантним геометричним моделюванням розумітимемо створення варіантів опрацьовуваних фігур та дослідження різновидів процесів їх побудов.

Дисертація виконувалась у рамках методології структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного формоутворення, що запропонована науковою школою прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського». Порівняно з попередніми дослідженнями головне завдання полягало в розробці нових прийомів та алгоритмів варіантного динамічного формоутворення технічної продукції, достатньо універсальних і продуктивних для реалізації засобами сучасної обчислювальної техніки.

Відповідно до наведеного завдання напрацьовано основи *методу поліпараметризації*, що спрямований на створення нових геометричних моделей для САПР.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського» на кафедрі нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки згідно з науково-дослідною темою 0114U002701 «Автоматизоване варіантне геометричне моделювання технічних об'єктів» та держбюджетною науково-дослідною темою 0114U001524 «Створення технологічних засад одержання високоміцних виробів із конструкційних композиційних матеріалів для спеціального машинобудування» кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування.

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає в розробці нових прийомів та алгоритмів варіантного геометричного моделювання для ефективного динамічного комп'ютерного формоутворення різноманітних технічних об'єктів.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні задачі:

1. *Виконати* аналіз сучасного стану варіантного геометричного моделювання технічних об'єктів, *визначити* напрямки проведення наукових досліджень.

2. *Розробити* основи методу поліпараметризації як подальшого розвитку структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного підходу до формоутворення.

3. *Напрацювати* нові прийоми й алгоритми варіантного геометричного моделювання технічних об'єктів.

4. *Здійснити* комп'ютерну програмну реалізацію запропонованих методик, *провести* відповідні експерименти.

5. *Упровадити* отримані наукові результати у практику шляхом здійснення варіантного моделювання технічних об'єктів і процесів їх виготовлення.

6. *Окреслити* перспективи подальшого розвитку методу поліпараметризації для варіантного формоутворення технічних об'єктів.

Об'єктом дослідження є процеси варіантного геометричного моделювання технічних об'єктів.

Предмет дослідження становлять варіантні геометричні моделі, що створені на основі використання методу поліпараметризації.

Методи дослідження. Поставлені в дисертації задачі розв'язувались на основі положень аналітичної, диференціальної, нарисної та обчислювальної геометрії, комп'ютерної графіки, теорії алгоритмів, множин і графів, оптимізації, проектування та виготовлення технічних об'єктів.

Науковою базою виконаних досліджень є роботи вітчизняних і зарубіжних учених:

– з теорії кривих і поверхонь: Н.М. Аушевої, Ю.І. Бадаєва І.Г. Балюби, П. Безьє, В.В. Ваніна, В.М. Верещаги, М.С. Гумена, О.М. Гумен, Ю.О. Дорошенка, С.М. Ковальова, С.М. Кривошапка, Л.М. Куценка, В.М. Малкіної, В.Є. Михайленка, В.О. Надолинного, А.В. Найдиша, В.М. Найдиша, В.М. Несвідоміна, В.А. Осипова, А.В. Павлова, С.Ф. Пилипаки, О.Л. Підгорного, А.М. Подкоритова, С.В. Росохи, І.А. Скідана, С.А. Устенка, В.П. Юрчука та ін.;

– з обчислювальної геометрії: Д. Роджерса, А. Фокса та ін.;

– з комп'ютерного геометричного моделювання об'єктів, процесів та явищ, розробки САПР: В.Д. Борисенка, І. Гардана, В.В. Гнатушенка, Ю.М. Ковальова, В.М. Комяк, В.М. Корчинського, В.Л. Мартинова, О.Ю. Ніцина, В.О. Плоского, К.О. Сазонова, О.В. Сергейчука, О.М. Соболя, Ю.М. Тормосова, Г.Я. Тулученко, А.Н. Хомченка, О.В. Чернікова, С.Л. Шамбіної, В.П. Шепеля, О.В. Шоман та ін.;

– з теорії проектування та виготовлення технічних об'єктів: А.Л. Абібова, Ф.В. Бабаєва, С.О. Балана, О.Ю. Браїлова, Н.В. Лебедевої та ін.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

– *розроблено* теоретичні основи методу поліпараметризації геометричних моделей технічних об'єктів;

– *розроблено* базові способи та прийоми методу поліпараметризації для варіантного формоутворення різноманітних геометричних фігур;

– *побудовано* варіантні динамічні геометричні моделі шляхом застосування методу поліпараметризації.

Удосконалено:

– структурно-параметричні та комбінаторно-варіаційні геометричні моделі технічної продукції розширенням їх можливостей за рахунок інтеграції з варіантним динамічним формоутворенням на базі методу поліпараметризації.

Отримали подальший розвиток:

– теорія варіантного моделювання складних геометричних об'єктів у вигляді структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного підходів на засадах методу поліпараметризації.

Обґрунтованість і достовірність одержаних результатів базується на аналітичних викладках, математичному доведенні тверджень, тестових прикладах, проведенні комп'ютерних експериментів і впровадженні у практику напрацьованих прийомів та алгоритмів варіантного геометричного моделювання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні та подальшому розвитку методології автоматизованого геометричного моделювання технічних об'єктів завдяки розробці нових прийомів й алгоритмів для варіантного динамічного формоутворення, які спираються на запропонований метод поліпараметризації. Здійснено їх комп'ютерну програмну реалізацію, побудовано відповідні моделі, проведено належні експерименти, упроваджено на практиці в науково-виробничому об'єднанні «Київський завод автоматики ім. Г.І. Петровського» під час дослідно-конструкторських робіт зі створення гіроскопічних приладів (Акт №541/1456 від 28.12.2015 р.), у проектно-конструкторському технологічному бюро «Марінекс» (м. Київ) для проектування навігаційних приладів (Акт №23-09-01 від 23.09.2015 р.), у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського» для варіантної побудови комп'ютерних геометричних моделей технічних об'єктів при викладанні дисципліни «Інженерна та комп'ютерна графіка» у процесі навчання студентів машинобудівних спеціальностей (Акт №32 від 27.10.2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Загальний напрямок проведення досліджень визначено науковим керівником. Дисертантом самостійно розроблено теоретичні основи запропонованого методу поліпараметризації, напрацьовано відповідні базові прийоми та алгоритми, побудовано варіантні динамічні геометричні моделі, здійснено впровадження отриманих результатів у практику, окреслено перспективи подальшого розвитку методу поліпараметризації. Особистий внесок автора у спільних публікаціях полягає в напрацюванні всіх теоретичних і практичних питань, що становлять наукову новизну виконаних досліджень. Докладно ці дані наведено у списку опублікованих праць.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідалися й обговорювалися на: IV Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих учених “Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів і молодих учених” (м. Київ, 2015 р.); XI Міжнародній науково-практичній конференції «Наука та технології: крок у майбутнє» (м. Прага, 2015 р.); XVII Міжнародній науково-практичній конференції “Сучасні проблеми геометричного моделювання” (м. Мелітополь, 2015 р.); XII

Міжнародній науково-технічній конференції “АВІА-2015” (м. Київ, 2015 р.); Всеукраїнській науково-методичній конференції “Дослідження можливостей використання інноваційних технологій у науковій роботі з прикладної геометрії та навчальному процесі кафедр ВНЗ, що займаються графічною підготовкою студентів” (м. Луцьк, 2015 р.); XVI міжнародній конференції з математичного моделювання (м. Херсон, 2015 р.).

Публікації. Основні наукові результати дисертаційного дослідження висвітлено в 17 роботах, серед яких 6 – у збірниках наукових праць, 5 – у наукових журналах, 6 – у матеріалах конференцій. За кордоном у наукових фахових виданнях видано 2 статті, 7 праць надруковано в наукових фахових виданнях згідно із затвердженим МОН України переліком, із яких 4 виконано одноосібно, 2 – з участю наукового керівника, 1 – у співавторстві з розробниками науково-дослідних тем НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського”.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 189 найменувань та 2 додатків. Робота містить 191 сторінку, з них 129 основного тексту, в тому числі 46 рисунків і 4 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено наукову новизну одержаних результатів, висвітлено питання апробації дисертації та її впровадження у практику.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану варіантного геометричного моделювання технічних об’єктів. При цьому шляхом вивчення літературних джерел простежено головні етапи розвитку наукової думки з опрацьовуваної тематики, окреслено ще невирішені питання, які становлять теоретичний і практичний інтерес.

Акцентовано увагу на тому, що під час проектування та виготовлення технічних об’єктів застосовується значне число різноманітних моделей. Серед них геометричним належить особлива інтегруюча роль. Це пов’язано з широким використанням багатьма дисциплінами, такими як конструкція, міцність, технологія і т. д. спільних параметрів форми, розмірів та положення створюваних виробів.

Сучасний розвиток комп’ютерних засобів і новітні наукові досягнення прикладної геометрії та інженерної графіки у своєму поєднанні забезпечують ефективне підґрунтя для проведення комплексної оптимізації промислової продукції. Зазначений процес доволі часто реалізується ітераційною побудовою достатньо великого числа проектних варіантів опрацьовуваних виробів та технології їх виготовлення. Це обумовлює з боку спеціальних дисциплін (міцності, конструкції, технології тощо) додаткові вимоги до геометричних моделей, які полягають не тільки в точному та продуктивному визначенні параметрів форми, розмірів та положення проєктованих технічних об’єктів, а і в достатньо гнучкому автоматизованому змінюванні їх геометрії.

У наш час засоби комп'ютерної графіки у вигляді САПР, таких як Autodesk Inventor, Компас-3D, SolidWorks, Pro/Engineer, CATIA та ін., являють собою ефективну програмно-технічну основу для успішного практичного впровадження нових методів геометричного моделювання промислової продукції. На додаток до наведених автоматизованих систем для формоутворення ліній та поверхонь, проведення аналітичних розрахунків, у тому числі застосування методів оптимізації, розробки різноманітних графіків тощо широко використовуються пакети математичного моделювання, наприклад, Mathcad, Maple і т. д.

Окреслені програмні засоби реалізують зручну для користувачів побудову фігур на основі аналітичних виразів; кінематичного формоутворення; алгоритмів інтерполяції, апроксимації та екстраполяції; виконання булевих операцій тощо. Означені комп'ютерні системи спираються на методологію параметричного геометричного моделювання, удосконаленням якої є теорія структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного формоутворення, що запропонована науковою школою прикладної геометрії НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського».

Розширення базових можливостей сучасних САПР забезпечується наявністю в них засобів програмування, наприклад, мови Visual Basic та ін., які дозволяють користувачам упроваджувати власні методи автоматизованого оброблення інформації, зокрема, геометричного моделювання.

Напрацьовані матеріали першого розділу дисертації показали необхідність подальшого розвитку теоретичних засад структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного формоутворення в аспекті потреби нового універсального методу для продуктивного автоматизованого варіантного моделювання процесів виготовлення різноманітних технічних об'єктів.

На підставі виконаних у першому розділі робіт визначено мету та задачі даного дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** подано математичні основи варіантного геометричного моделювання технічних об'єктів із позицій запропонованого методу поліпараметризації. На засадах класифікації геометричних об'єктів за їх вимірністю напрацьовано базові прийоми та алгоритми цього методу для реалізації динамічних побудов *точок, ліній, поверхонь і тіл*.

Було показано, що один із перспективних напрямків ефективного вирішення питань варіантного динамічного геометричного моделювання різноманітних фігур полягає в застосуванні до областей їх параметричного визначення комбінаторно-варіаційного підходу. Іншими словами, розгляду даних областей у вигляді потрібних комбінацій із певних ділянок. У загальному випадку ці комбінації різняться складом і послідовністю оброблення своїх елементів. Оскільки крім суто параметричного моделювання запропонований метод містить прийоми як параметричних, так і структурних перетворень, то він й отримав від грецького слова «πολύς», тобто «багато», свою назву *метод поліпараметризації*.

Розробка прийомів та алгоритмів даного методу виконувалась із додержанням таких загальних засад структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного формоутворення як:

– *вимірність геометричних фігур*, тобто напрацювання спочатку потрібних прийомів й алгоритмів моделювання для об'єктів меншої вимірності з подальшим їх узагальненням та поширенням на об'єкти вищої вимірності;

– *забезпечення системного підходу*, тобто розгляду досліджуваних геометричних фігур і створюваних прийомів та алгоритмів як певних взаємопов'язаних елементів, що входять до складу систем вищих ієрархічних рівнів;

– *додержання принципів уніфікації та універсальності* для забезпечення ефективності практичної комп'ютерної реалізації запропонованих прийомів й алгоритмів варіантного формоутворення в середовищі сучасних САПР.

У якості базової математичної залежності прийнято параметричне визначення радіус-вектора \mathbf{r} фігури в n -вимірному, $n \in \mathbb{N}$, просторі

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u_1, \dots, u_j, p_1, \dots, p_k); \quad u_j \in [u_{\min j}, u_{\max j}], \quad j \leq n, \quad (1)$$

де u_j – параметри-змінні; p_k – параметри-сталі; j, k – цілі невід'ємні числа.

Різниця між параметрами-змінними та параметрами-сталими полягає в тому, що для перших під час відтворення модельованої геометричної фігури характерним є змінювання в певних проміжках, а другі при цьому мають лише свої сталі значення. Число параметрів-змінних визначає вимірність геометричного об'єкта.

Було показано, що вираз (1) варто розглядати в уніфікованому спрощеному вигляді

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u_1, \dots, u_j, p_1, \dots, p_k); \quad u_j \in [0, 1], \quad j \leq n, \quad (2)$$

де u_j – параметри-змінні; p_k – параметри-сталі; j, k – цілі невід'ємні числа; $n \in \mathbb{N}$.

Для систематизації способів динамічного формоутворення різноманітних геометричних об'єктів використано властивості

$$\mathbf{B} = (\mathbf{B}_i)_1^3, \quad (3)$$

де \mathbf{B}_1 =(*неперервність*), \mathbf{B}_2 =(*напрямок*), \mathbf{B}_3 =(*характер ділянок параметризації*).

Перший елемент кортежу (3) визначає неперервність процесу формоутворення

$$\mathbf{B}_1 = (\mathbf{B}_{11}, \mathbf{B}_{12}) = (\text{формоутворення неперервне}, \text{формоутворення дискретне}), \quad (4)$$

другий характеризує напрям формоутворення

$$\mathbf{B}_2 = (\mathbf{B}_{21}, \mathbf{B}_{22}) = (\text{однонаправлене}, \text{багатонаправлене}), \quad (5)$$

третій стосується ділянок параметризації

$$\mathbf{B}_3 = (\mathbf{B}_{31}, \mathbf{B}_{32}) = (\text{сталі ділянки параметризації}, \text{змінні ділянки параметризації}). \quad (6)$$

На підставі множин (4) ... (6), як результат трирівневої класифікації, способи варіантних динамічних геометричних побудов методом поліпараметризації визначаються декартовим добутком

$$\mathbf{C} = \mathbf{B}_1 \times \mathbf{B}_2 \times \mathbf{B}_3 = (\mathbf{C}_i)_1^8. \quad (7)$$

Відповідно до залежності (7), на основі наведених властивостей динамічних побудов, маємо вісім способів формоутворення, які згідно з принципами уніфікації та універсальності є інваріантними до вимірності модельованих фігур.

Як наступний рівень класифікації можуть розглядатися певні спеціалізовані прийоми варіантного динамічного формоутворення, що подаються далі. Останні, однак, уже залежать від вимірності опрацьовуваних об'єктів, проте інваріантні до конкретних їх аналітичних описів.

Точки

Точки – це найдрібніші (нульвимірні) геометричні фігури, які визначаються лише своїм положенням у просторі, тобто координатами. На підставі формули (2) для точок, що розташовані не більш ніж у тривимірному просторі, маємо

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(p_1, \dots, p_k), \quad k \leq 3, \quad (8)$$

де $k \in \mathbb{N}$.

Згідно з виразом (8) отримуємо у випадку:

– $k=1$

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(p_1); \quad (9)$$

– $k=2$

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(p_1, p_2); \quad (10)$$

– $k=3$

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(p_1, p_2, p_3). \quad (11)$$

Параметричні залежності (9) ... (11) визначають довільну точку з радіус-вектором \mathbf{r} відповідно в одно-, дво- та тривимірному просторі. Конкретними прикладами їх застосування, зокрема, можуть бути для:

– виразу (9)

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(x),$$

тобто дефініція точки на прямолінійній осі Ox із початком координат у точці O за допомогою абсциси x ;

– виразу (10)

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(x, y),$$

тобто визначення точки на площині абсцисою x та ординатою y в декартовій системі координат Oxy ;

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(\rho, \varphi),$$

тобто дефініція точки на площині за допомогою радіуса ρ та кута φ в полярній системі координат;

– виразу (11)

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(x, y, z),$$

тобто визначення точки у тривимірному просторі абсцисою x , ординатою y та аплікатою z у декартовій системі координат $Oxyz$;

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(\rho, \varphi, z),$$

тобто дефініція точки у тривимірному просторі за допомогою радіуса ρ , кута φ та аплікати z у циліндричній системі координат;

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(\rho, \varphi, \theta),$$

тобто визначення точки у тривимірному просторі радіусом ρ , кутом φ довготи та кутом θ широти у сферичній системі координат.

Лінії

На основі формули (2) для ліній (одновимірних фігур), що розташовані у двовимірному або тривимірному просторі, маємо

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u, p_1, \dots, p_k), \quad (12)$$

де $u \in [0, 1]$ – параметр-змінна, p_k – параметри-сталі, k – ціле невід’ємне число.

Акцентування уваги на можливості дефініції за допомогою методу поліпараметризації опрацьовуваних геометричних об’єктів у різних системах координат, як це зроблено для точок, більш не здійснювалось. Надалі використано лише декартові системи координат, що найпоширеніші в сучасних САПР.

З виразу (12) видно, що в загальному випадку кількість параметрів-сталих є довільною, а параметр-змінна обов’язково застосовується тільки один, оскільки саме він визначає вимірність лінії. Умовно параметри-змінні вважаються елементами *внутрішньої параметризації* фігури, а параметри-сталі – *зовнішньої параметризації*.

У зв’язку з тим, що варіювання елементів зовнішньої параметризації модельованих технічних об’єктів, як правило, залежить від їх функціонального призначення, а головне завдання дійсних розвідок полягає в розробці загальних універсальних прийомів динамічного геометричного моделювання, інваріантних до конкретних задач, то окреслені специфічні питання в теоретичному аспекті не розглядалися. Ці задачі можуть бути предметом інших наукових досліджень. Однак, відповідні приклади практичної реалізації наведені у третьому розділі дисертації, а в цьому предметом аналізу є лише області внутрішньої параметризації фігур.

Тому в подальших викладках для ліній спиратимемося на залежність

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u), \quad (13)$$

де $u \in [0, 1]$ – параметр-змінна.

Для варіантного динамічного геометричного моделювання ліній вигляду (13) застосовано множину ділянок параметризації

$$D = (D_i)_1^{N_d}. \quad (14)$$

На основі співвідношень (7), (13) і (14) використано наступні прийоми та алгоритми (лінійні, циклічні, розгалужені, комбіновані) опрацювання ділянок:

– для способу S_1 =(*формування неперервне однонаправлене зі сталими ділянками параметризації*)

$$D_i = (u_i \in [(i-1)/N_d, i/N_d]), \quad (15)$$

$$D_i = (u_i \in [(N_d-i)/N_d, (N_d-i+1)/N_d]); \quad (16)$$

– для способу S_2 =(*формування неперервне однонаправлене зі змінними ділянками параметризації*)

$$D_i = (u_i \in \left[\frac{\sum_{m=1}^i (m-1)}{L}, \frac{i + \sum_{m=1}^i (m-1)}{L} \right]), \quad (17)$$

де $L = N_d + \sum_{m=1}^{N_d} (m-1)$;

– для способу C_3 =(формування неперервне багатонаправлене зі сталими ділянками параметризації)

$$D_i=(u_i \in [(\langle i/2 \rangle - 1)/N_d + 1/2, \langle i/2 \rangle / N_d + 1/2])$$

при непарних i ,

$$D_i=(u_i \in [(N_d - \langle i/2 \rangle) / N_d - 1/2, (N_d - \langle i/2 \rangle + 1) / N_d - 1/2]) \quad (18)$$

при парних i ,

де $N_d = 2k$, $k \in \mathbb{N}$, $\langle \rangle$ – тут і надалі округлення ненатурального числа до найближчого більшого натурального;

– для способу C_4 =(формування неперервне багатонаправлене зі змінними ділянками параметризації)

$$D_i=(u_i \in [\frac{1}{2} + \frac{\sum_{m=1}^{\langle (i-1)/2 \rangle} m}{L}, \frac{1}{2} + \frac{\sum_{m=1}^{\langle i/2 \rangle} m}{L}]) \quad (19)$$

при непарних i ,

$$D_i=(u_i \in [\frac{1}{2} - \frac{\sum_{m=1}^{\langle (i-1)/2 \rangle} m}{L}, \frac{1}{2} - \frac{\sum_{m=1}^{\langle (i-2)/2 \rangle} m}{L}]), \quad (20)$$

при парних i ,

де $N_d = 2k$, $k \in \mathbb{N}$, $L = 2 \sum_{i=1}^k i$;

– для способу C_5 =(формування дискретне однонаправлене зі сталими ділянками параметризації)

$$D_i=(u_i \in [2(i-1)/N_d, (2i-1)/N_d]), \quad (21)$$

де $i = 1 \dots [(N_d + 1)/2]$;

– для способу C_6 =(формування дискретне однонаправлене зі змінними ділянками параметризації)

$$D_i=(u_i \in [\frac{\sum_{m=1}^{2i-1} (m-1)}{L}, \frac{2i-1 + \sum_{m=1}^{2i-1} (m-1)}{L}]), \quad (22)$$

де $L = N_d + \sum_{m=1}^{N_d} (m-1)$, $i = 1 \dots [(N_d + 1)/2]$;

– для способу C_7 =(формування дискретне багатонаправлене зі сталими ділянками параметризації)

$$D_i=(u_i \in ((\langle i/2 \rangle - 1)/N_d, \langle i/2 \rangle / N_d))$$

при непарних i ,

$$D_i=(u_i \in ((N_d - \langle i/2 \rangle) / N_d, (N_d - \langle i/2 \rangle + 1) / N_d)) \quad (23)$$

при парних i ,

де $N_d = 2k$, $k \in \mathbb{N}$;

– для способу C_8 =(формування дискретне багатонаправлене зі змінними ділянками параметризації), де $N_d = 2k$, $k \in \mathbb{N}$, $n = 1 \dots \langle k/2 \rangle$ для $i = 1 + 4(n-1)$ згідно з виразом (19), для $i = 2 + 4(n-1)$ відповідно до формули (20).

Крім проаналізованих вище співвідношень для реалізації досліджуваних способів варіантного динамічного формоутворення можливі й інші аналітичні залежності. Проміжки часу між візуалізацією конкретних ділянок (14)... (23) модельованого динамічного геометричного об'єкта (ДГО), як правило, обираються відповідно до математичних обчислень досліджуваного процесу, внаслідок чого створюється потрібна комплексна геометрична модель (КГМ), тобто поєднання кількох взаємопов'язаних математичних моделей, для яких геометрична є базовою.

У роботі доведено твердження щодо максимального числа прийомів варіантних геометричних побудов ліній з урахуванням додатково до властивостей (3) ще й характеру варіювання (збільшення, зменшення) параметра-змінної.

У дисертації викладено прийоми варіантного динамічного формоутворення ліній із застосуванням бінарних графів-дерев (рис. 1). Вибір останніх обумовлений поділом кожної поточної ділянки параметричного визначення ліній у вигляді відрізка на дві частини. Прийнята індексація ділянок, що полягає в додаванні на кожному новому рівні поділу ще одного індексу, дозволяє гнучко багатоманітними комбінаторними обходами листових вершин графа реалізовувати різні варіанти динамічних побудов ліній.

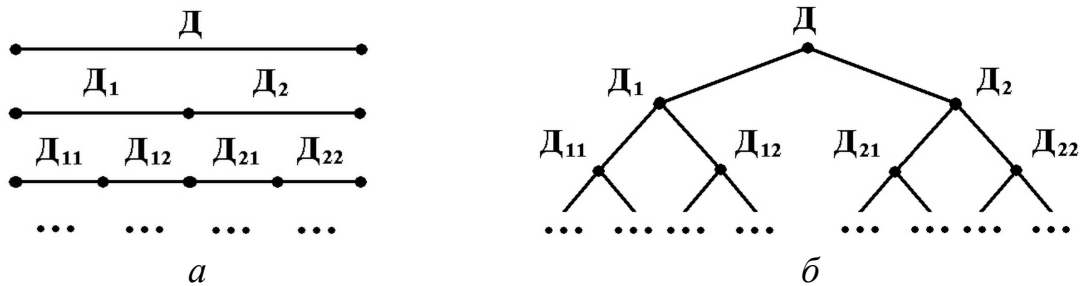


Рис. 1. Застосування бінарного дерева для варіантного динамічного формоутворення ліній:

a – поділ ділянки параметричного визначення; *б* – бінарне дерево

Наведені графи зручні для варіантного геометричного моделювання недетермінованих і випадкових процесів.

Поверхні

На підставі співвідношення (2) для поверхонь (двовимірних фігур), що розташовані у тривимірному просторі, маємо

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u_1, u_2, p_1, \dots, p_k), \quad (24)$$

де $u_1=u$, $u \in [0, 1]$; $u_2=v$, $v \in [0, 1]$ – параметри-змінні, p_k – параметри-сталі, k – ціле невід'ємне число.

У випадку формули (24) використання параметрів відповідає проаналізованому для ліній. Тому, за аналогією, отримуємо

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u, v), \quad (25)$$

де $u \in [0, 1]$, $v \in [0, 1]$ – параметри-змінні.

Вираз (25) є поширенням залежності (13) на поверхні, тобто без урахування їх зовнішньої параметризації. Для варіантного динамічного геометричного моделювання поверхонь вигляду (25) застосовано множину ділянок

$$D = (D_{i,j})_{1,1}^{N_{Du}, N_{Dv}} = (D_n)_{1,1}^{N_{Du}, N_{Dv}} = (D_n)_{1,1}^{N_D}, \quad (26)$$

де N_{Du}, N_{Dv} – число ділянок параметризації відповідно вздовж параметра u та v .

Перш ніж перейти до розгляду аналітичної реалізації конкретних способів формоутворення (7) акцентовано увагу на деяких загальних аспектах стосовно використання множини (26) із точки зору комбінаторно-варіаційного підходу. При цьому основний чинник полягає в тому, що опрацювання її елементів може здійснюватися в різноманітній послідовності, наприклад, як змінюванням (зменшенням, збільшенням) спочатку другого індексу (параметра v) при фіксованому значенні першого індексу (параметра u), так і навпаки, тощо.

На основі співвідношень (7), (25) і (26) використано наступні прийоми та алгоритми (лінійні, циклічні, розгалужені, комбіновані) опрацювання ділянок:

– для способу C_1

$$D_{i,j} = (u_i \in [(i-1)/N_{Du}, i/N_{Du}], v_j \in [(j-1)/N_{Dv}, j/N_{Dv}]); \quad (27)$$

– для способу C_2

$$D_{i,j} = (u_i \in [\frac{\sum_{m=1}^i (m-1)}{L_u}, \frac{i + \sum_{m=1}^i (m-1)}{L_u}], v_j \in [\frac{\sum_{m=1}^j (m-1)}{L_v}, \frac{j + \sum_{m=1}^j (m-1)}{L_v}]), \quad (28)$$

де $L_u = N_{Du} + \sum_{m=1}^{N_{Du}} (m-1)$, $L_v = N_{Dv} + \sum_{m=1}^{N_{Dv}} (m-1)$;

– для способу C_3

$$D_{i,1} = (u_i \in [(\langle i/2 \rangle - 1)/N_{Du} + 1/2, \langle i/2 \rangle / N_{Du} + 1/2], v_1 \in [0, 1])$$

при непарних i ,

$$D_{i,1} = (u_i \in [(N_{Du} - \langle i/2 \rangle) / N_{Du} - 1/2, (N_{Du} - \langle i/2 \rangle + 1) / N_{Du} - 1/2], v_1 \in [0, 1]) \quad (29)$$

при парних i ,

де $N_{Du} = 2k$, $k \in \mathbb{N}$, $N_{Dv} = 1$;

– для способу C_5

$$D_{i,j} = (u_i \in [2(i-1)/N_{Du}, (2i-1)/N_{Du}], v_j \in [2(j-1)/N_{Dv}, (2j-1)/N_{Dv}]), \quad (30)$$

де $i = 1 \dots [(N_{Du} + 1)/2]$, $j = 1 \dots [(N_{Dv} + 1)/2]$;

– і т. д.

Для варіантного динамічного формоутворення поверхонь крім виразів (27) ... (30) застосовуються й інші залежності, подібні до розглянутих для ліній. Інтервали часу між візуалізацією наведених ділянок модельованих ДГО, зазвичай, відповідають математичним обчисленням опрацьовуваних процесів, унаслідок чого створюються необхідні КГМ.

У дисертації доведено твердження щодо максимальної кількості прийомів варіантних геометричних побудов поверхонь з урахуванням додатково до властивостей (3) ще й послідовності та характеру варіювання (збільшення, зменшення) параметрів-змінних.

У роботі подано прийоми варіантного динамічного формоутворення поверхонь із використанням квадродерев (рис. 2). Вибір цих графів обумовлений розбиттям кожної поточної ділянки параметричного визначення поверхні (у вигляді початкового плоского квадрата) на чотири частини шляхом поділу на два фрагменти вздовж параметра u та v . Прийнята індексація ділянок аналогічна розглянутій для ліній.

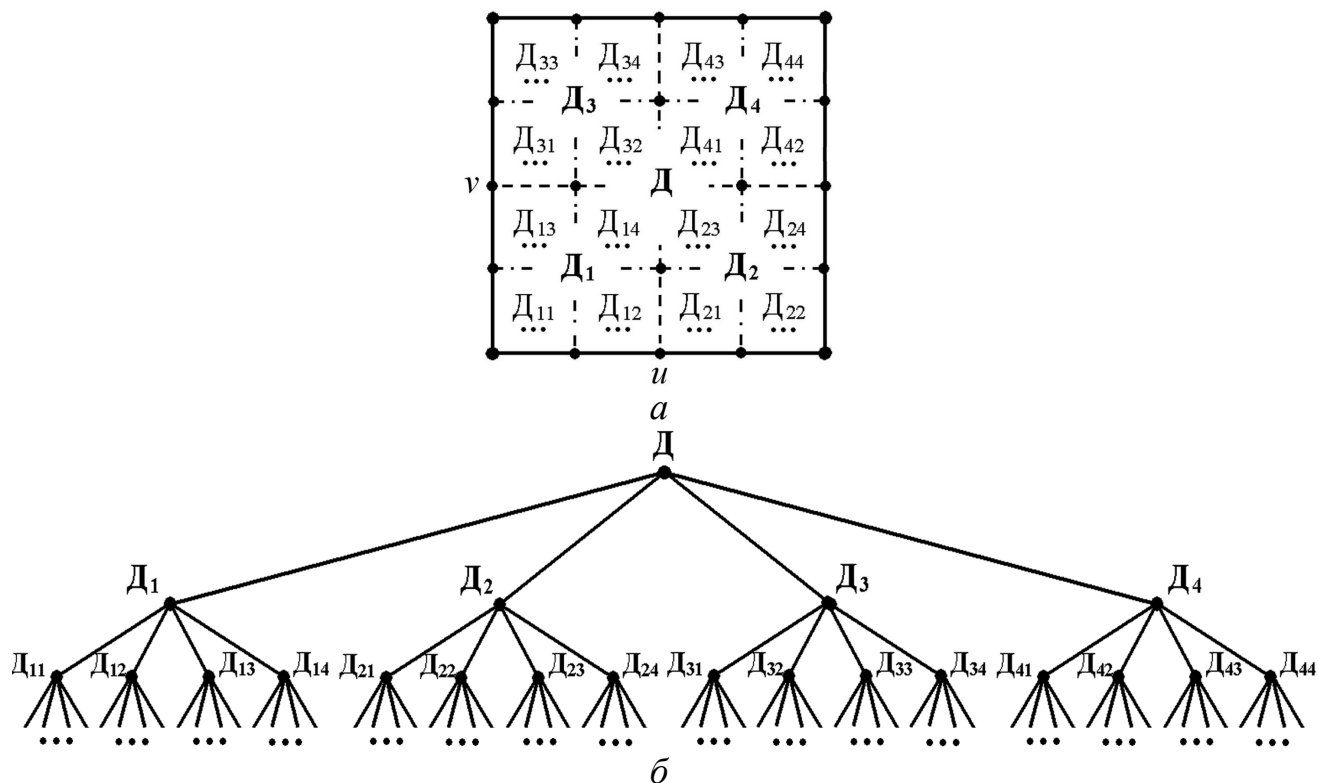


Рис. 2. Застосування квадродерева для варіантного динамічного формоутворення поверхонь:

a – схема поділу ділянки параметричного визначення; $б$ – квадродерево

Наведені графи корисні для варіантного геометричного моделювання недетермінованих і випадкових процесів.

Тіла

На підставі формули (2) для тіл (тривимірних фігур), що розташовані у тривимірному просторі, маємо

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u_1, u_2, u_3, p_1, \dots, p_k), \quad (31)$$

де $u_1=u$, $u \in [0, 1]$; $u_2=v$, $v \in [0, 1]$; $u_3=w$, $w \in [0, 1]$ – параметри-змінні, p_k – параметри-сталі, k – ціле невід'ємне число.

У випадку залежності (31) використання параметрів аналогічне викладеному для ліній і поверхонь. Тому для тіл застосовано

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u, v, w), \quad (32)$$

де $u \in [0, 1]$, $v \in [0, 1]$, $w \in [0, 1]$ – параметри-змінні.

Вираз (32) є поширенням співвідношення (25) на тіла, тобто без урахування їх зовнішньої параметризації.

Для варіантного динамічного геометричного моделювання тіл вигляду (32) використано множину ділянок

$$D = (D_{i,j,k})_{1,1,1}^{N_{Du}, N_{Dv}, N_{Dw}} = (D_n)_{1,1,1}^{N_{Du} \cdot N_{Dv} \cdot N_{Dw}} = (D_n)_{1,1,1}^{N_D}, \quad (33)$$

де N_{Du} , N_{Dv} , N_{Dw} – кількість ділянок параметризації відповідно вздовж параметра u , v та w .

Зроблені вище зауваження стосовно можливих різноманітних послідовностей опрацювання елементів кортежу (26) цілком стосуються й множини (33).

На основі співвідношень (7), (32) і (33) застосовано наступні прийоми та алгоритми опрацювання ділянок:

– для способу C_1

$$D_{i,j,k} = (u_i \in [(i-1)/N_{Du}, i/N_{Du}], v_j \in [(j-1)/N_{Dv}, j/N_{Dv}], w_k \in [(k-1)/N_{Dw}, k/N_{Dw}]); \quad (34)$$

– для способу C_2

$$D_{i,j,k} = (u_i \in [\frac{\sum_{m=1}^i (m-1)}{L_u}, \frac{i + \sum_{m=1}^i (m-1)}{L_u}], v_j \in [\frac{\sum_{m=1}^j (m-1)}{L_v}, \frac{j + \sum_{m=1}^j (m-1)}{L_v}], w_k \in [\frac{\sum_{m=1}^k (m-1)}{L_w}, \frac{k + \sum_{m=1}^k (m-1)}{L_w}]), \quad (35)$$

де $L_u = N_{Du} + \sum_{m=1}^{N_{Du}} (m-1)$, $L_v = N_{Dv} + \sum_{m=1}^{N_{Dv}} (m-1)$, $L_w = N_{Dw} + \sum_{m=1}^{N_{Dw}} (m-1)$;

– для способу C_5

$$D_{1,1,k} = (u_1 \in [0, 1], v_1 \in [0, 1], w_k \in [2(k-1)/N_{Dw}, (2k-1)/N_{Dw}]), \quad (36)$$

де $k=1 \dots [(N_{Dw}+1)/2]$;

– і т. д.

Для варіантного динамічного формоутворення тіл крім виразів (34) ... (36) використовуються й інші залежності, схожі до поданих вище. Візуалізація ділянок та їх розміри для відтворюваних ДГО можуть визначатися відповідно до математичних моделей досліджуваних процесів, формуючи таким чином потрібні КГМ.

У дисертації доведено твердження щодо максимального числа прийомів варіантних геометричних побудов тіл з урахуванням додатково до властивостей (3) ще й послідовності та характеру варіювання (збільшення, зменшення) параметрів-змінних.

У роботі розглянуто варіантне динамічне формоутворення тіл за допомогою октодерев (рис. 3). Вибір цих графів обумовлений розбиттям кожної поточної ділянки параметричного визначення тіла (у вигляді початкового куба) на вісім частин шляхом поділу на два фрагменти вздовж параметра u , v та w . Прийнята індексація ділянок аналогічна поданій для ліній і поверхонь.

Проаналізовані графи зручні для варіантного геометричного моделювання недетермінованих і випадкових процесів.

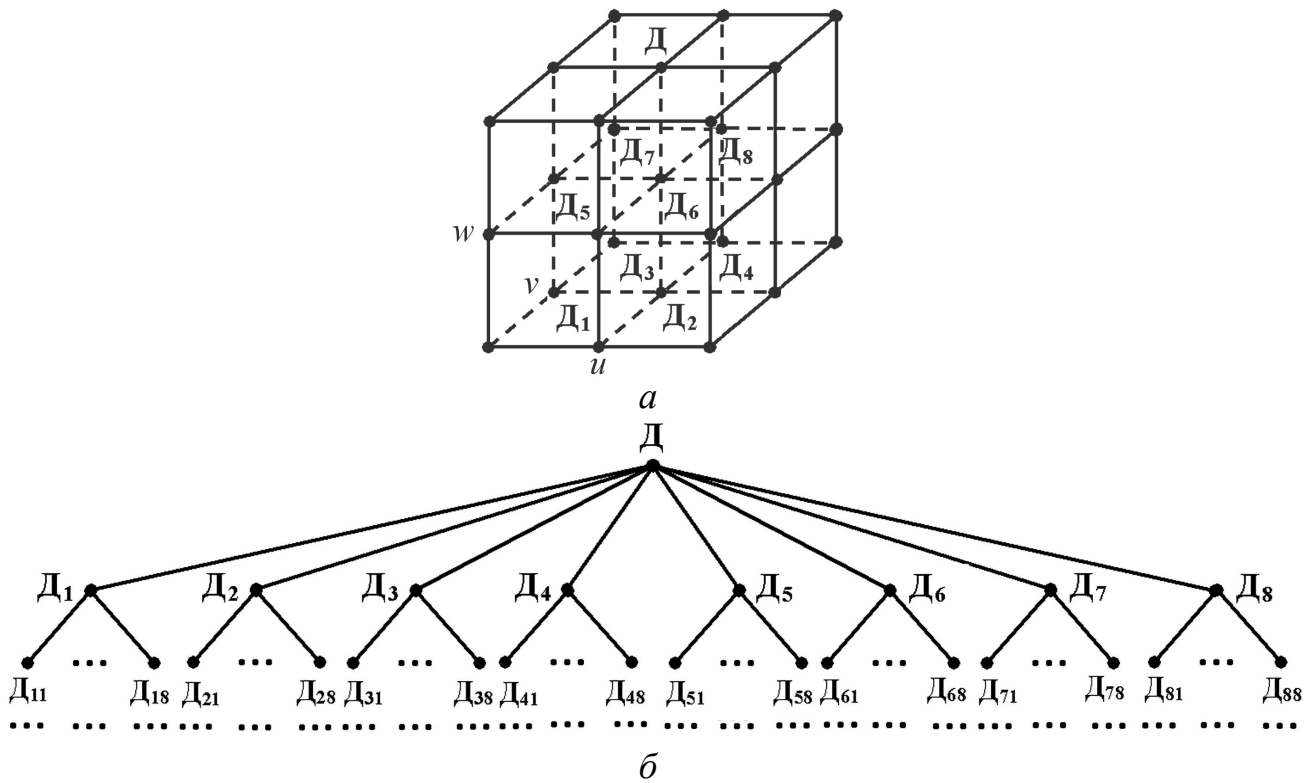


Рис. 3. Використання октодерев для варіантного динамічного формоутворення тіл:

a – схема поділу ділянки параметричного визначення; b – октодерево

Конкретні приклади формоутворення на основі застосування методу поліпараметризації викладено в наступному розділі дисертації.

Третій розділ присвячено практичній реалізації напрацьованих прийомів та алгоритмів варіантного геометричного моделювання.

У матеріалах цієї частини дослідження, спираючись на подані математичні засади методу поліпараметризації:

- виконано динамічне формоутворення дискретно представленого аеродинамічного профілю NASA-0015;

- створено два варіанти моделі падіння тіла у вигляді матеріальної точки, де для першого забезпечено візуалізацію положення тіла в необхідні моменти часу, а для другого – на потрібних поточних висотах;

- побудовано варіантну динамічну модель, яка унаочнює способи формоутворення (7) на прикладі відрізка прямої;

- здійснено поєднання прийомів та алгоритмів, розглянутих у другому розділі дисертації, з конкретними аналітичними описами ліній, поверхонь і тіл;

- розроблено варіантні динамічні геометричні моделі для відтворення заготівельних та оброблювальних технологічних процесів.

Також на засадах структурно-параметричної методології запропоновано новий спосіб варіантного формоутворення складених обводів, реалізований у вигляді обчислювального комбінаторного алгоритму, що дозволяє покращувати якість, наприклад, аеродинамічних профілів. Розроблено спосіб комп'ютерного варіантного геометричного моделювання акустичних концентраторів, який узагальнює формоутворення декількох їх типів, що підвищує ефективність автоматизованого проектування.

На рис. 4 показано варіантне геометричне моделювання циліндричної гвинтової лінії за наступним рівнянням (у прямокутній декартовій системі координат $Oxyz$)

$$\mathbf{r}(u) = \mathbf{r}(x, y, z) = \mathbf{r}(R \cos(2\pi nu), R \sin(2\pi nu), Pnu), \quad (37)$$

де R – радіус обертання твірної точки навколо осі z ; P – крок, тобто переміщення твірної точки вздовж осі z за один оберт; n – число обертів; $u \in [0, 1]$ – параметр-змінна.

На цих зображеннях проміжки можливого варіювання фігур подані штриховими лініями, а їх частини, що відповідають використаним суміжним ділянкам параметризації – різним кольором (відтінками).

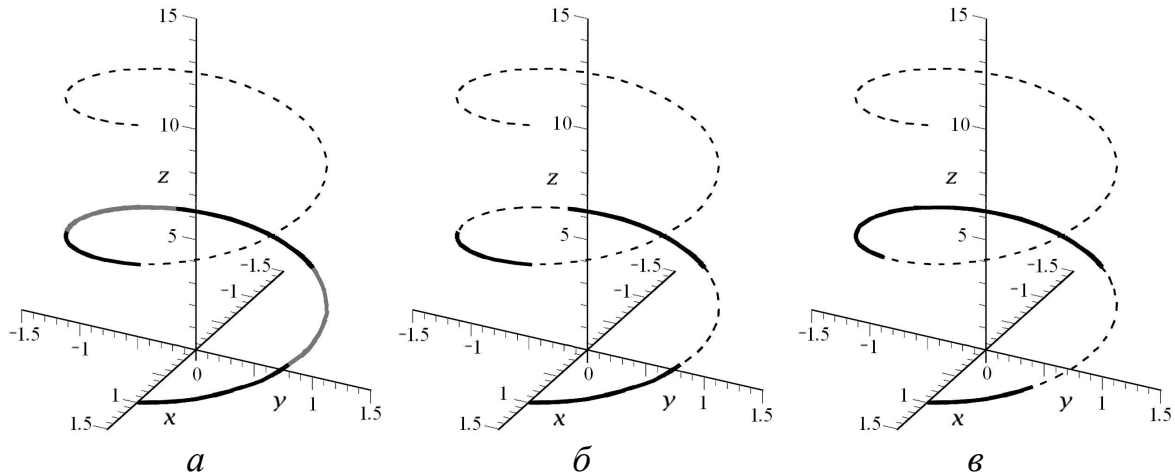


Рис. 4. Варіантне динамічне формоутворення циліндричної гвинтової лінії методом поліпараметризації:
а – спосіб C_1 ; б – спосіб C_5 ; в – спосіб C_6

На рис. 5 наведено поверхні, які визначаються рівнянням

$$\mathbf{r}(u, v) = \mathbf{r}(x, y, z) = \mathbf{r}(R \cos(2\pi nu), R \sin(2\pi nu), Pnu + Hv), \quad (38)$$

яке узагальнює вираз (37), де H – ширина (висота) гвинтової стрічки; $u \in [0, 1]$, $v \in [0, 1]$ – параметри-змінні.

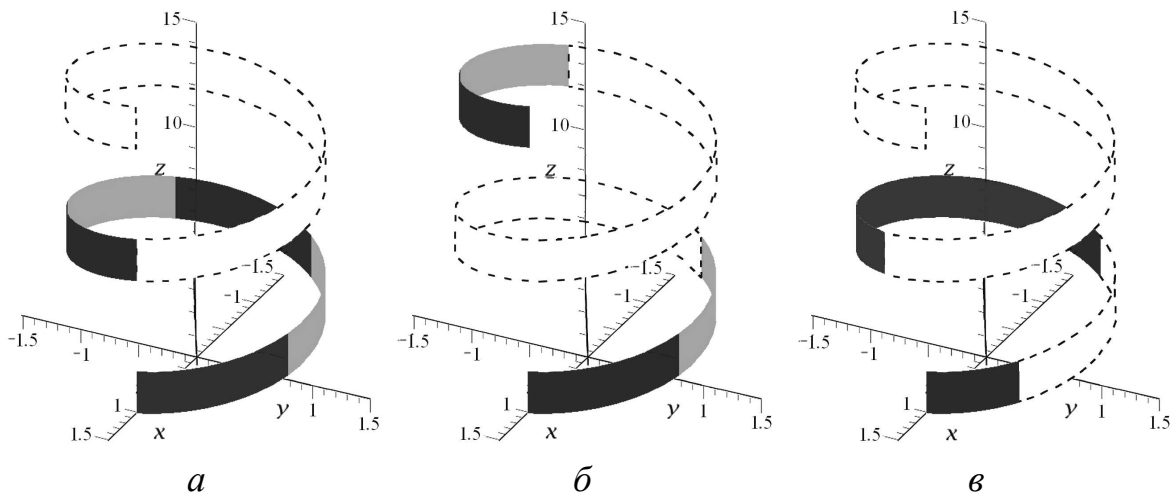


Рис. 5. Варіантне динамічне формоутворення циліндричної гвинтової стрічки методом поліпараметризації:
а – спосіб C_1 ; б – спосіб C_7 ; в – спосіб C_6

Перше та третє зображення цього рисунка узагальнюють відповідні випадки рис. 4 за рахунок додаткового параметра-змінної v та величини H , яка не повинна перевищувати крок P . Зображення рис. 5, б отримано на десяти однакових ділянках параметризації, що подане в момент використання чотирьох із них способом C_7 (формування дискретне багатонаправлене зі сталими ділянками параметризації). При цьому побудови йдуть по чергово з кінців $u=0$ та $u=1$ у напрямі до середини опрацьовуваного геометричного об'єкта.

На підставі подальшого удосконалення співвідношення (38), шляхом розгляду руху твірного круга радіуса r вздовж напрямної циліндричної гвинтової лінії, тобто криволінійної осі для переміщення центра зазначеного круга, одержано наступне векторне рівняння описаного тіла

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(u, v, w) &= \mathbf{r}(x, y, z) = \\ &= \mathbf{r}((R + r w \cos(2\pi u)) \cos(2\pi v), (R + r w \cos(2\pi u)) \sin(2\pi v), P n v + r w \sin(2\pi u)), \end{aligned} \quad (39)$$

де $u \in [0, 1]$, $v \in [0, 1]$, $w \in [0, 1]$ – параметри-змінні.

Побудовані згідно з виразом (39) фігури показані на рис. 6.

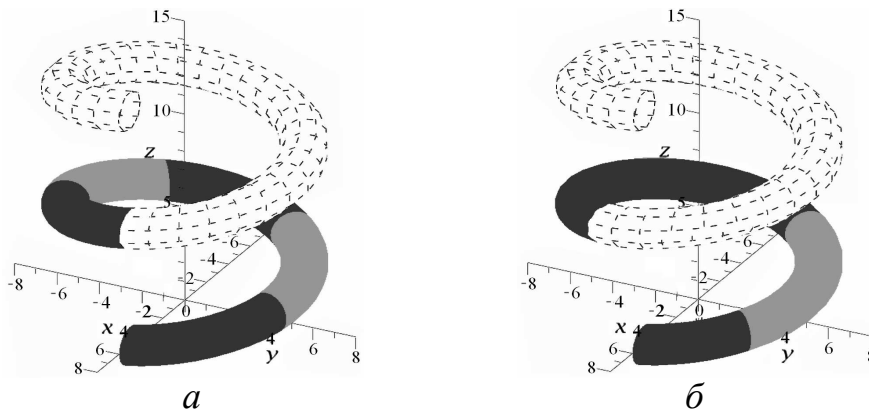


Рис. 6. Варіантне динамічне формування тіла методом поліпараметризації:
 a – спосіб C_1 ; b – спосіб C_2

У роботі виконано варіювання зовнішньою параметризацією (рис. 7) не тільки зміною значень наведених вище параметрів R , P та n , а й за допомогою аналітичної залежності радіуса обертання від числа обертів n та параметра u .

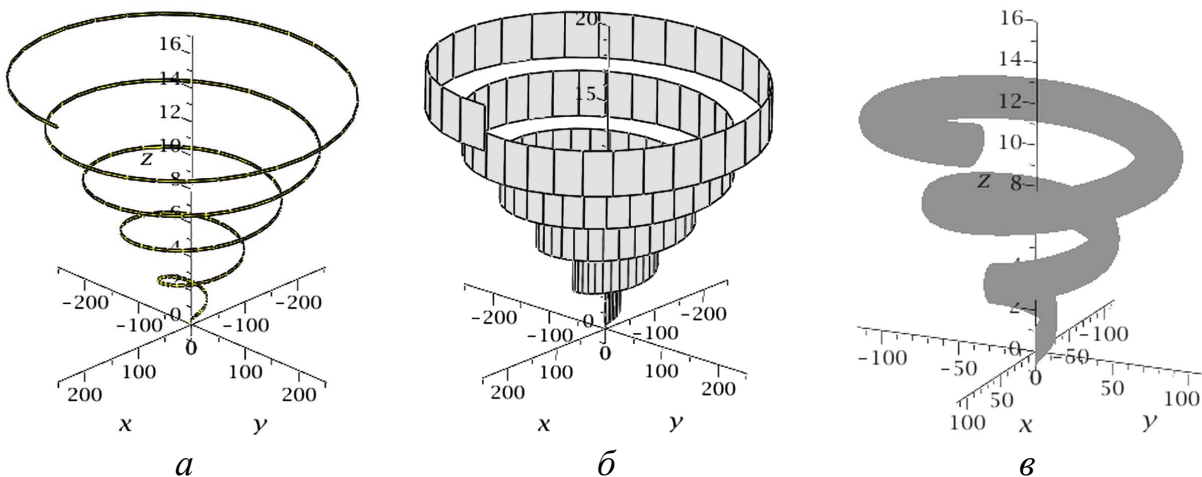


Рис. 7. Приклади варіювання зовнішньою параметризацією для:
 a – лінії; b – поверхні; v – тіла

Також здійснено варіантні динамічні побудови поверхонь і тіл на основі застосування векторних параметричних рівнянь еліпсоїдальної поверхні та прямого кругового циліндра.

На рис. 8 та рис. 9 показано приклади використання методу поліпараметризації для варіантного динамічного моделювання відповідно заготівельних та оброблювальних процесів виготовлення деталей машинобудування.

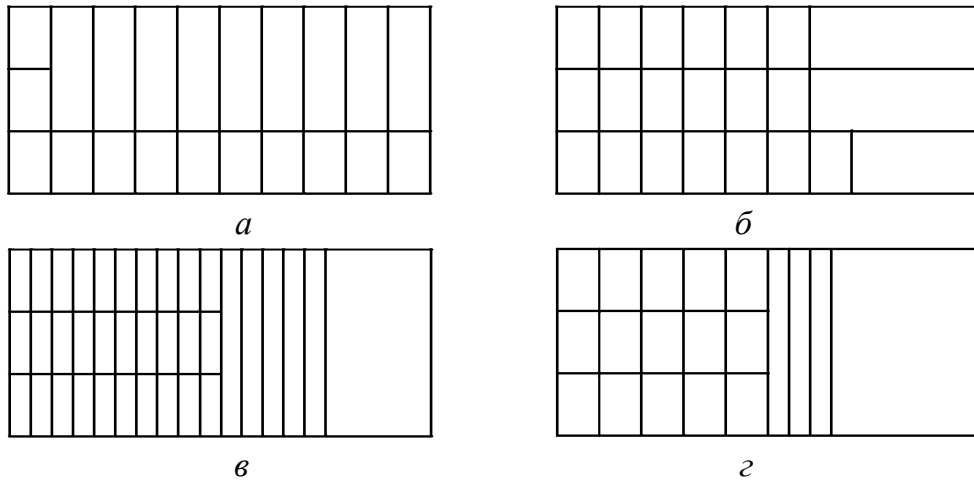


Рис. 8. Варіанти динамічного розкрою листа

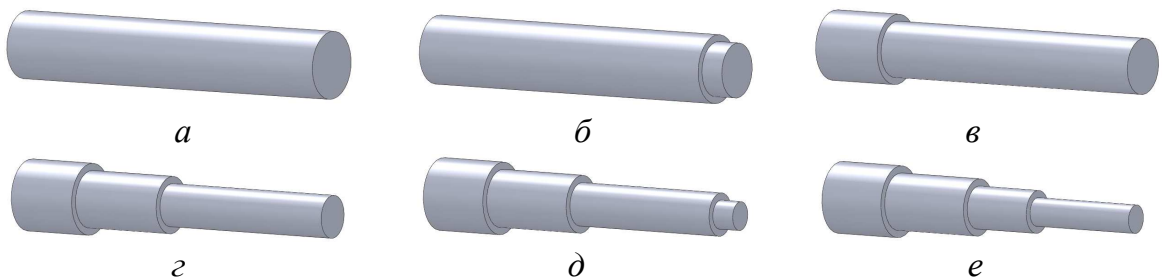


Рис. 9. Динамічне моделювання токарного оброблення

Рис. 8, *a* відтворює варіант динамічного розкрою листа, коли спочатку здійснюється його поділ уздовж ширини (для певних значень параметра u), а потім уздовж довжини (для певних значень параметра v), а на рис. 8, *б* – навпаки. На рис. 8, *в* та рис. 8, *г* опрацьовуються окремо дві однакові частини вихідного листа, але в першому випадку одиничним розкромом, а у другому – груповим.

На рис. 9, *a* зображено заготованку, на рис. 9, *б* та рис. 9, *в* – початок та завершення точіння першої циліндричної поверхні деталі. Рис. 9, *г* ... *е* ілюструють відповідно оброблену другу циліндричну поверхню, початок та закінчення виготовлення останньої третьої.

Для всіх наведених прикладів у додатках дисертації розміщені відповідні тексти комп'ютерних програм для реалізації в середовищі пакетів SolidWorks та Maple.

У даному розділі дисертації також розглянуто питання використання варіантних комп'ютерних геометричних моделей як основи для комплексної оптимізації технічних об'єктів на прикладі проектування складених акустичних концентраторів (АК), які є робочими інструментами різноманітного ультразвукового обладнання.

На рис. 10 показано досліджувану схему складеного АК, кортеж проектних варіантів якого позначено аббревіатурою КС (концентратор складений).

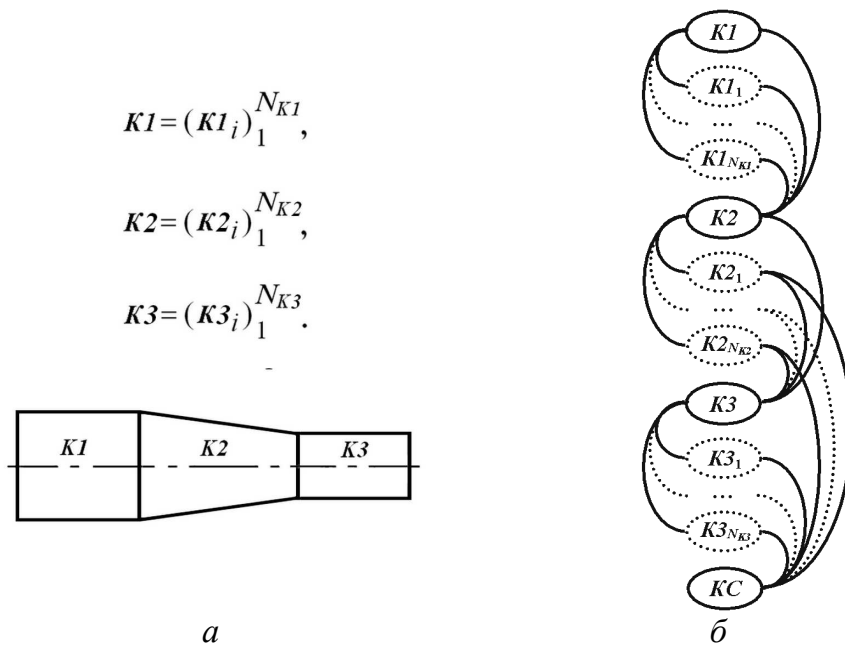


Рис. 10. Комплексна оптимізація складених АК:

a – досліджувана схема; *б* – варіантна структурно-параметрична модель
K1, K3 – циліндричні АК; *K2* – конічні, експоненціальні, катеноїдальні АК

У **четвертому розділі** дисертації окреслено перспективи подальшого розвитку варіантного геометричного моделювання технічних об'єктів на основі методу поліпараметризації в аспекті розширення сфер його практичного впровадження та вдосконалення теорії динамічного формоутворення.

Оскільки напрацьовані методики доволі універсальні, то їх варто розповсюджувати на інші групи деталей, наприклад, корпусні, важільні, кулачкові і т. д. Одночасно потрібно охоплювати й нові види обробляння, такі як фрезерування, штампування, литво тощо. Цікаве застосування методу поліпараметризації для моделювання складально-монтажних робіт у машинобудуванні, як загальному, так і спеціальному, зокрема, хімічному, нафтопереробному тощо.

Однією з перспектив сучасних інформаційних технологій є *швидке прототипування* (Rapid Prototyping), яке полягає в пошаровому отриманні фізичного об'єкта на основі його комп'ютерної геометричної моделі за допомогою 3D-принтерів. Ці засоби, що відповідають головній ідеї методу поліпараметризації, проаналізовано на прикладі макетування будівельних циліндричних оболонок та куполів.

Удосконалення запропонованого підходу слід здійснювати шляхом подальшої його інтеграції з математичними описами конкретних технічних об'єктів і процесів їх виготовлення та експлуатації.

ВИСНОВКИ

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню важливої науково-прикладної задачі підвищення ефективності варіантного комп'ютерного формоутворення різноманітних технічних об'єктів шляхом напрацювання нових прийомів та алгоритмів геометричного моделювання.

Значення для науки полягає в розробці методу поліпараметризації як подальшого розвитку теорії структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного формоутворення.

Значення для практики полягає в побудові нових варіантних геометричних моделей технічних об'єктів і процесів їх виготовлення на основі застосування методу поліпараметризації.

При вирішенні поставлених задач отримано наступні теоретичні та практичні результати, що мають науково-практичну цінність:

1. Виконано аналіз сучасного стану варіантного геометричного моделювання технічних об'єктів, що дозволило визначити перспективні напрямки проведення наукових досліджень.

2. Розроблено теоретичні основи методу поліпараметризації як подальшого розвитку структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного підходу до формоутворення, які започаткували в даній методології напрямок динамічних побудов.

3. Напрацьовано нові прийоми та алгоритми варіантного геометричного моделювання технічних об'єктів, які забезпечують ефективні автоматизовані графічні динамічні побудови.

4. Здійснено комп'ютерну програмну реалізацію запропонованих методик, проведено відповідні експерименти, які підтвердили правильність розроблених положень методу поліпараметризації.

5. Упроваджено отримані наукові результати у практику шляхом здійснення варіантного формоутворення різноманітних технічних об'єктів і процесів їх виготовлення.

6. Окреслено перспективи методу поліпараметризації для варіантного геометричного моделювання технічних об'єктів, що включають розширення сфер впровадження та подальше вдосконалення динамічного формоутворення.

Таким чином, головним досягненням виконаної дисертаційної роботи є розвиток теорії структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного геометричного моделювання завдяки розробці нового методу поліпараметризації. Напрацьовані на його основі прийоми та алгоритми для здійснення варіантних комп'ютерних динамічних графічних побудов сприяють підвищенню ефективності автоматизованого проектування різноманітних технічних об'єктів і процесів їх виготовлення. Для безпосереднього впровадження на виробництві можуть бути рекомендовані викладені в дисертації методики формоутворення складених обводів та комплексної оптимізації ультразвукових концентраторів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в закордонних фахових виданнях

1. G.I. Virchenko Structural and Technological Design of Ways for Preparing Reactoplastic Composite Fiber Materials Based on Structural Parametric Modeling [Електронний ресурс] / A.E. Kolosov, G.A. Virchenko, E.P. Kolosova, G.I. Virchenko // Chemical and Petroleum Engineering. – November 2015, Volume 51, Issue 7, pp 493-500. – Режим доступу: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10556-015-0075-3> (журнал входить до наукометричної бази даних Scopus).

Вирченко Г.И. Конструкторско-технологическое проектирование технических средств для получения реактопластичных композиционно-волоконистых материалов на базе структурно-параметрического моделирования [Текст] / А.Е. Колосов, Г.А. Вирченко, Е.П. Колосова, Г.И. Вирченко // Химическое и нефтегазовое машиностроение: научн.-техн. и производственный журнал. – №7. – М.: МГМУ, 2015. – С. 41-46.

Особисто здобувачем запропоновано прийоми варіантного параметричного конструювання типових форм ультразвукових концентраторів.

2. Вирченко Г.И. Вариантное компьютерное макетирование оболочек на основе полипараметризации их срединных поверхностей [Текст] / В.В. Ванін, С.Л. Шамбіна, Г.И. Вирченко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений: науч.-техн. журнал. – №6. – М.: РУДН, 2015. – С. 3-8.

Особисто здобувачем розроблено методику варіантного комп'ютерного макетування оболонок на основі поліпараметризації їх срединних поверхонь.

Статті в наукових фахових виданнях України

3. Вирченко Г.И. Варіантне моделювання геометричних об'єктів методом поліпараметризації [Текст] / В.В. Ванін, Г.И. Вирченко, С.Г. Вирченко // Проблеми інформаційних технологій: наук. журнал. – №02(016), 2014. – Херсон: ХНТУ, 2014. – С. 76-79.

Особисто здобувачем розроблено теоретичні основи методу поліпараметризації.

4. Вирченко Г.И. До питання варіантного геометричного моделювання складених обводів [Текст] / Г.И. Вирченко // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий наук.-техн. збірник. – Вип. 92. – К.: КНУБА, 2014. – С. 45-48.

5. Вирченко Г.И. Динамічне варіантне формоутворення ліній, поверхонь і тіл методом поліпараметризації [Текст] / Г.И. Вирченко // Наукові нотатки. Міжвуз. зб. – Вип. 48. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – С. 45-48.

6. Вирченко Г.И. Застосування графів-дерев для динамічного варіантного моделювання геометричних об'єктів [Текст] / Г.И. Вирченко // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: наук. журнал. – №19. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – С. 96-99.

7. Вирченко Г.И. Застосування структурно-параметричних геометричних моделей для варіантного конструювання складених акустичних концентраторів [Текст] / Г.И. Вирченко, О.О. Голова, О.П. Колосова, С.Л. Шамбіна // Вісник Херсонського націон. техн. університету: наук. журнал. – Вип. 3 (54). – Херсон: ХНТУ, 2015. – С. 547-550.

Особисто здобувачем розроблено методику варіантного конструювання складених акустичних концентраторів.

8. Вирченко Г.И. Метод поліпараметризації як ефективний засіб варіантного динамічного комп'ютерного формоутворення [Текст] / Г.И. Вирченко // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий наук.-техн. збірник. – Вип. 93. – К.: КНУБА, 2015. – С. 5-9.

9. Вирченко Г.И. Застосування структурно-параметричного моделювання для проектування нафтопереробного обладнання [Текст] / В.В. Ванін, Г.А. Вирченко, Г.И. Вирченко // Вісник національного техн. університету України "КПІ". Серія "Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження": зб. наук. праць. – Вип. № 1 (15) - 2016. – К.: НТУУ "КПІ", 2016. – С. 10-15.

Особисто здобувачем запропоновано удосконалення автоматизованого проектування нафтопереробного обладнання за рахунок варіантного динамічного геометричного моделювання.

Додаткові публікації в інших виданнях

10. Вирченко Г.И. Автоматизоване варіантне геометричне моделювання технічних об'єктів [Текст] / В.В. Ванін, Г.И. Вирченко, О.М. Гумен // Науковий вісник Мелітопольського держ. педагогічного університету. Серія: Математика. Геометрія. Інформатика: наук.-метод. зб. – Т. 1. – Мелітополь: МДПУ, 2014. – С. 41-44.

Особисто здобувачем опрацьовано загальні питання методики проведення наукових досліджень щодо варіантного геометричного моделювання технічних об'єктів.

11. Вірченко Г.І. До питання варіантного геометричного моделювання акустичних концентраторів [Текст] / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, Г.І. Вірченко, О.П. Колосова // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий наук.-техн. збірник. – Вип. 92. – К.: КНУБА, 2014. – С. 36-40.

Особисто здобувачем запропоновано спосіб комп'ютерного варіантного геометричного моделювання, що узагальнює формоутворення декількох типів акустичних концентраторів.

Матеріали конференцій

12. Вірченко Г.І. Методологічний підхід до конструкторсько-технологічного проектування ефективних технічних засобів для одержання реактопластичних композиційно-волокнистих матеріалів на базі структурно-параметричного моделювання [Текст] / О.Є. Колосов, Г.А. Вірченко, О.П. Колосова, Г.І. Вірченко // Матеріали IV всеукр. наук.-практичної конф. студентів, аспірантів та молодих учених “Прикладна геометрія, дизайн, об’єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених”. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 111-115.

Особисто здобувачем розроблено прийоми варіантного конструкторсько-технологічного проектування елементів технічних засобів для одержання реактопластичних композиційно-волокнистих матеріалів.

13. Virchenko G.I. Computer-aided variant geometric modeling of technical objects [Текст] / G.I. Virchenko // Materialy XI mezinarodni vedecko-prakticka konference «Veda a technologie: krok do budoucnosti - 2015». – Dil 17. Moderni informacni technologie. – Praha. Publishing House «Education and Science», 2015. – P. 68-70.

14. Вірченко Г.І. Комп'ютерне геометричне моделювання як основа комплексної оптимізації технічних об’єктів [Текст] / В.В. Ванін, Г.І. Вірченко, А.Й. Незенко // Збірник праць XVII міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні проблеми геометричного моделювання”. – Мелітополь: МДПУ, 2015. – С. 30-34.

Особисто здобувачем виконано аналіз сучасного стану комп'ютерного геометричного моделювання як основи для комплексної оптимізації технічних об’єктів та запропоновано перспективи його розвитку.

15. Вірченко Г.І. Особливості варіантного геометричного моделювання акустичних концентраторів [Електронний ресурс] / В.В. Ванін, О.П. Колосова, Г.І. Вірченко // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції “АВІА-2015”. – К.: НАУ, 2015. – С. 26.24-26.28. – Режим доступу: http://avia.nau.edu.ua/doc/avia-2015/AVIA_2015.pdf.

Особисто здобувачем розроблено прийоми варіантного геометричного моделювання акустичних концентраторів.

16. Вірченко Г.І. Динамічне варіантне формоутворення ліній, поверхонь і тіл методом поліпараметризації [Текст] / Г.І. Вірченко // Програма Всеукр. наук.-метод. конф. “Дослідження можливостей використання інноваційних технологій у науковій роботі з прикладної геометрії та навчальному процесі кафедр ВНЗ, що займаються графічною підготовкою студентів”. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. – С. 4.

17. Вірченко Г.І. Застосування структурно-параметричних геометричних моделей для варіантного конструювання складених акустичних концентраторів [Текст] / Г.І. Вірченко, О.О. Голова, О.П. Колосова, С.Л. Шамбіна // Програма XVI міжн. конф. з математичного моделювання. – Херсон: ХНТУ, 2015. – С. 7.

Особисто здобувачем розроблено методику варіантного конструювання складених акустичних концентраторів.

АНОТАЦІЯ

Вірченко Г.І. Варіантне геометричне моделювання технічних об'єктів методом поліпараметризації. – *На правах рукопису.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.01.01 – прикладна геометрія, інженерна графіка. – Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, 2016.

Дисертаційну роботу присвячено розв'язанню важливої науково-прикладної задачі підвищення ефективності варіантного комп'ютерного формоутворення різноманітних технічних об'єктів шляхом напрацювання нових прийомів та алгоритмів геометричного моделювання. У виконаному дослідженні на основі проведеного аналізу літературних джерел визначено перспективні напрямки подальшого розвитку автоматизованого формоутворення промислової продукції. Розроблено новий метод геометричних побудов, що отримав назву «метод поліпараметризації», сутність якого полягає в застосуванні до областей параметричного визначення таких фігур як лінії, поверхні, тіла структурно-параметричного та комбінаторно-варіаційного підходів. У дисертації викладено основні теоретичні положення цього методу, напрацьовано відповідні прийоми й алгоритми варіантного формоутворення, здійснено їх комп'ютерну програмну реалізацію, побудовано відповідні геометричні моделі, проведено їх тестування. Отримані наукові результати впроваджено у виробничу практику та навчальний процес Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Окреслено перспективи подальшого розвитку запропонованого методу варіантного моделювання, який сприяє підвищенню продуктивності автоматизованого проектування технічних об'єктів та покращенню їх якості.

Ключові слова: автоматизоване проектування, варіантне геометричне моделювання, комбінаторно-варіаційний підхід, метод поліпараметризації, структурно-параметричне формоутворення, технічні об'єкти.

АННОТАЦИЯ

Вирченко Г.И. Вариантное геометрическое моделирование технических объектов методом полипараметризации. – *На правах рукописи.*

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.01 – прикладная геометрия, инженерная графика. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, 2016.

Диссертационная работа посвящена решению важной научно-прикладной задачи повышения эффективности компьютерного вариантного формообразования различных технических объектов с помощью создания новых приемов и алгоритмов геометрического моделирования. В выполненном исследовании на основе проведенного анализа литературных источников определены перспективные направления дальнейшего развития автоматизированного формообразования промышленной продукции. Разработан новый метод геометрических построений,

получивший название «метод полипараметризации», сущность которого заключается в применении к областям параметрического определения таких фигур как линии, поверхности, тела структурно-параметрического и комбинаторно-вариационного подходов. В диссертации изложены основные теоретические положения этого метода, разработаны соответствующие приемы и алгоритмы вариантного формообразования, выполнена их компьютерная программная реализация, построены соответствующие геометрические модели, проведено их тестирование. Полученные научные результаты внедрены в производственную практику ряда предприятий и учебный процесс Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Определены перспективы дальнейшего развития предложенного метода вариантного моделирования, который существенным образом способствует повышению производительности автоматизированного проектирования технических объектов и улучшению их качества.

Главным достижением выполненной диссертационной работы является дальнейшее развитие теоретических основ структурно-параметрического и комбинаторно-вариационного геометрического моделирования благодаря созданию нового метода вариантных динамических построений. Основными его преимуществами являются универсальность по отношению к таким формируемым фигурам как точки, линии, поверхности и тела, а также унификация используемых приемов и алгоритмов, что очень удобно при их реализации в виде конкретных компьютерных прикладных программ, используемых в современных системах автоматизированного проектирования. Разработанные на основе данного метода приемы и алгоритмы вариантных динамических графических построений способствуют улучшению автоматизированного моделирования различной промышленной продукции и процессов ее изготовления и эксплуатации. Для непосредственного практического внедрения на производстве могут быть рекомендованы подробно изложенные в диссертации методики вариантного формообразования составных обводов и комплексной оптимизации акустических концентраторов ультразвукового технологического оборудования.

Вследствие того, что предложенные приемы и алгоритмы геометрического моделирования достаточно универсальные, то их можно распространить, кроме проанализированного в диссертации формообразования листовых деталей и тел вращения, также и на другие группы деталей, например, корпусные, рычажные, кулачковые, пружинные и т. д. Одновременно с этим нужно охватывать и новые виды обработки, такие как фрезерование, шлифование,ковка, штамповка, прессование, различные виды литья и т. п. Интересным является исследование возможности применения метода полипараметризации для моделирования сборочно-монтажных работ в машиностроении, как общем, так и специальном, в частности, химическом, нефтеперерабатывающем и пр. Перспективной областью для внедрения данного метода является проектирование, изготовление и эксплуатация новых материалов, например, композиционных, полимерных и т. д.

Одним из многообещающих направлений современных информационных технологий считается быстрое прототипирование (Rapid Prototyping), которое заключается в послойном получении физического объекта на основе его компьютерной геометрической модели с помощью 3D-принтеров. Указанный подход, который совпадает с главной идеей метода полипараметризации, проанализирован в данной работе на примере макетирования строительных сооружений (цилиндрических оболочек и куполов).

Совершенствование предложенного в диссертации метода вариантного геометрического моделирования следует осуществлять с помощью дальнейшей его интеграции с математическими описаниями конкретных создаваемых технических объектов и процессов их изготовления и эксплуатации, расширением номенклатуры используемых приемов и алгоритмов формообразования.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, вариантное геометрическое моделирование, комбинаторно-вариационный подход, метод полипараметризации, структурно-параметрическое формообразование, технические объекты.

ANNOTATION

Virchenko G.I. Variant geometric modeling of technical objects by polyparameterization method. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, specialty 05.01.01 – applied geometry, engineering graphics. – Kyiv National University of Building and Architecture, Kyiv, Ukraine, 2016

The thesis is devoted to solving important scientific and applied tasks of improving variant computer forming of various technical objects. New techniques and algorithms for geometric modeling are created in this research.

Comprehensive analysis of literary sources was performed. Perspective directions for further development of automated shaping of industrial products were determined.

The new geometric method was developed. It is called «polyparameterization method». Its essence is to apply to parametric definition areas of lines, surfaces and solids structurally-parametric and combinatorial-variational approaches.

The basic theoretical principles of this method were described. The computer software implementations were made. The appropriate geometric models were built and their testing was done. The obtained scientific results were implemented in industrial practice and educational process of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute».

The perspectives for further development of the created method for variant geometric modeling were analyzed. The proposed approach increases productivity and quality of computer-aided design of technical objects.

Keywords: combinatorial-variational approach, computer-aided design, polyparameterization method, structurally-parametric shaping, technical objects, variant geometric modeling.