

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

ВІРЧЕНКО Геннадій Анатолійович

УДК 514.18

**УЗАГАЛЬНЕННЯ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО ПІДХОДУ
ДО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

05.01.01 – прикладна геометрія, інженерна графіка

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук**

Київ – 2011

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий консультант: Заслужений працівник освіти України,
доктор технічних наук, професор
Ванін Володимир Володимирович,
декан фізико-математичного факультету,
завідувач кафедри нарисної геометрії, інженерної та
комп'ютерної графіки,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут» (м. Київ).

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

- доктор технічних наук, професор
Бадаєв Юрій Іванович,
завідувач кафедри інформаційних технологій,
Київська державна академія водного транспорту (м. Київ);

- доктор технічних наук, доцент
Несвідомін Віктор Миколайович,
професор кафедри нарисної геометрії,
комп'ютерної графіки та дизайну,
Національний університет біоресурсів і
природокористування України (м. Київ)

Захист відбудеться "___" жовтня 2011 р. о 13 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, ауд. 466.

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

Автореферат розіслано "___" вересня 2011 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.056.06

О. А. Бондар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Сутність наукової проблеми. Розробка нових ефективних методів геометричного моделювання технічних об'єктів та побудова їх конструкторсько-технологічних моделей традиційно належить до найбільш трудомістких процесів у галузі машинобудування.

Сучасні автоматизовані конструкторсько-технологічні системи спираються на структурно-параметричні засади подання виробів та на засоби комп'ютерної графіки й геометричного моделювання, що дозволяє забезпечити координовану взаємодію різних спеціалістів під час опрацювання складних об'єктів.

Сутність досліджуваної наукової проблеми полягає в необхідності:

- *узагальнення* теоретичних основ *структурно-параметричного геометричного моделювання*;

- *удосконалення* методології комп'ютерного формоутворення технічної продукції;

- *розробки* нових способів, прийомів та алгоритмів побудови й використання геометричних моделей для проектування, виготовлення та експлуатації об'єктів машинобудування.

Сучасний стан проблеми. Історично у прикладній геометрії сформувалась значна кількість наукових напрямків, які базуються на методах *аналітичної, багатовимірної, диференціальної, комбінаторної, нарисної, обчислювальної, проєктивної та інших геометрій*. Сучасною технічною їх реалізацією є різноманітні комп'ютерні програмні пакети.

Потреба в нових геометричних методах обумовлюється необхідністю розв'язання більш складних теоретичних і практичних задач відображення форми, розмірів, положення та інших параметрів і характеристик предметів, процесів та явищ у просторі й часі.

Новітнім засобом підвищення якості технічної продукції, зменшення термінів та витрат на її створення й експлуатацію є *системи автоматизованого проектування* (САПР), які в машинобудівні прийнято позначати як CAD/CAM/CAE. Найбільш відомі з них це AutoCAD, SolidWorks, КОМПАС, CADD5, Unigraphics, Pro/Engineer, CATIA та ін.

Однією з головних нинішніх тенденцій у зазначених САПР є широке використання *параметричного моделювання*. Його подальшим розвитком можна вважати *структурно-параметричне моделювання*, яке спроможне забезпечити більш потужне та гнучке варіантне формоутворення технічної продукції.

Однак на даний момент наукове опрацювання методології *структурно-параметричного геометричного моделювання* носить фрагментарний характер і не має своєї практичної реалізації в сучасних машинобудівних САПР.

Актуальність обраної теми обумовлена потребами теорії в узагальненні методів структурно-параметричного геометричного моделювання та запитам практиці щодо удосконалення комп'ютерного варіантного формоутворення складної технічної продукції.

Об'єктивною основою виконаних наукових досліджень є те, що в математичних описах об'єктів машинобудування ключова інтегруюча роль належить їх геометричним параметрам, спільно застосовуваним багатьма спеціалістами, які беруть участь у розробці техніки.

Успішне розв'язання вищеподаної проблеми сприятиме створенню високопродуктивних САПР.

Мета досліджень полягає в узагальненні та подальшому розвитку теоретичних основ структурно-параметричного підходу до комп'ютерного геометричного моделювання, підвищенні на його засадах ефективності автоматизованого опрацювання продукції машинобудування.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні завдання:

1. *Проаналізувати* місце та роль графічних засобів САПР у розробці об'єктів машинобудування в умовах широкого використання сучасних комп'ютерних інформаційних технологій.

2. *Визначити* напрямки наукових досліджень щодо удосконалення теорії структурно-параметричного геометричного моделювання технічних об'єктів.

3. *Сформулювати* засади інтеграції комп'ютерними графічними засобами етапів проектування, виробництва та експлуатації продукції машинобудування.

4. *Визначити* типові геометричні задачі структурно-параметричного моделювання й розробити для їх розв'язування відповідні методи.

5. *Опрацювати* нові способи та алгоритми варіантного формоутворення технічних об'єктів.

6. *Розробити* нові методики структурно-параметричного комп'ютерного моделювання деталей і складаних одиниць та процесів їх виготовлення.

7. *Опрацювати*, на основі структурно-параметричного підходу, спосіб візуалізації багатовимірних об'єктів.

8. *Виконати* програмну реалізацію запропонованих методів, прийомів та алгоритмів, *провести* комп'ютерні експерименти щодо їх апробації, *впровадити* одержані результати у практику, *показати* можливість використання напрацьованої методології моделювання в інших, крім машинобудування, сферах життєдіяльності людини.

Зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано згідно з державними бюджетними науково-дослідними темами 0105U001438 «Теорія моделювання конструкторсько-технологічних поверхонь складної форми стосовно безплавового виробництва», 0108U000732 «Теорія структурно-параметричного геометричного моделювання складних виробів машинобудування» та 0110U002332 «Теорія структурно-параметричного геометричного моделювання як засіб комплексної оптимізації процесів автоматизованого проектування та виробництва» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». У двох останніх темах здобувач був провідним виконавцем.

Об'єктом дослідження є процеси структурно-параметричного геометричного моделювання технічних систем у машинобудуванні.

Предмет дослідження становлять структурно-параметричні геометричні моделі технічних систем у машинобудуванні.

Методи дослідження. Поставлені в дисертації задачі розв'язувались із використанням аналітичної, нарисної, диференціальної, комбінаторної, багатовимірної та обчислювальної геометрії; топології; теорій множин, графів, алгоритмів; методів автоматизованого проектування, системного аналізу, математичного програмування й оптимального управління; теорії конструювання та технології машинобудування; засобів комп'ютерної графіки.

Науковою базою виконаних досліджень є роботи вітчизняних і зарубіжних учених:

– з теорії кривих та поверхонь: Дж. Альберга, Ю.І. Бадаєва, І.Я. Бакельмана, П. Безьє, В. Бляшке, В.В. Ваніна, В.М. Верещаги, Д. Гільберта, С.М. Грибова, Ю.О. Дорошенка, Ю.С. Зав'ялова, С.М. Ковальова, М.І. Кованцова, С. Кунса, Л.М. Куценка, Р. Лаймінга, В.М. Малкіної, Р. Мілмана, В.Є. Михайленка, В.О. Надолинного, А.В. Найдиша, В.М. Найдиша, В.М. Несвідоміна, В.С. Обухової, В.А. Осипова, А.В. Павлова, С.Ф. Пилипаки, О.Л. Підгорного, А.М. Подкоритова, Є.В. Пугачова, С.І. Пустюльги, С.В. Росохи, І.А. Скідана, Д. Фергюсона, А.Форреста, С.А. Фролова, В.П. Юрчука та ін.;

– з комбінаторної та обчислювальної геометрії: Б. Грюнбаума, Г. Дебруннера, М. Пратта, Ф. Препарата, Д. Роджерса, А. Фокса, А.Н. Хомченка, М. Шеймоса, Г. Хадвігера та ін.;

– з багатовимірної геометрії: М.С. Гумена, Г.С. Іванова, Є.В. Мартина та ін.;

– з топології: В.Г. Болтянського, Дж. Мілнора, В.В. Прасолова, У. Тьорстона, А.Т. Фоменка та ін.;

– з комп'ютерного геометричного моделювання складних об'єктів, процесів і явищ та розробки САПР: В.П. Бикова, В.Д. Борисенка, К.І. Валькова, Г.Г. Власюк, І. Гардана, В. Гілоя, В.В. Гнатушенка, О.Т. Дворецького, А.С. Дехтяра, Ю.М. Ковальова, В.М. Комяк, В.М. Корчинського, В.Г. Лі, О.Ю. Ніцина, В.О. Плоского, М. Принса, В.Л. Рвачова, К.О. Сазонова, О.В. Сергейчука, О.М. Соболя, Ю.М. Тормосова, Г.Я. Тулученко, Дж. Фоли, Б. Хокса, О.В. Чернікова, В.П. Шепеля, О.В. Шоман та ін.;

– з теорії множин, графів й алгоритмів: М. Айгнера, А. Ахо, К. Бержа, Н. Бурбаки, Н. Вірта, А.М. Колмогорова, Е. Майніки, Х. Пападимитриу та ін.;

– з методів системного аналізу, математичного програмування й оптимального керування: К. Асаї, Б. Банді, Ф. Гілла, Л.В. Канторовича, Дж. Кліра, Т. Сааті, В.М. Тихомірова, К. Ельстера, Л. Янга та ін.;

– з теорії проектування, виготовлення й експлуатації машинобудівних конструкцій: Е.Я. Авдоньєва, В.С. Антипенка, Ф.В. Бабаєва, А.І. Бабушкіна, Б.М. Базрова, С.О. Балана, О.В. Богуслаєва, О.Ю. Браїлова, С.М. Єгера, В.Н. Зайцева, В.К. Замятіна, Н.М. Капустіна, Б.І. Кіндрацького, Г.О. Кривова, Ю.М. Кузнецова, З.Т. Назарчука, М.П. Новікова, О.П. Осташа, Б.О. Пальчевського, В.В. Панасюка, А.О. Панова, Б.Є. Патона, Н.С. Равської, В. Б. Струтинського, Э. Хога та ін.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Уперше запропоновано узагальнену концепцію наскрізного комп'ютерного структурно-параметричного геометричного моделювання на всіх рівнях ієрархії досліджуваних об'єктів (точки, лінії, поверхні, тіла, різноманітні їх комбінації, багатовимірні фігури) та обґрунтовано її базовий характер для автоматизованого проектування технічних об'єктів.

2. Уперше визначено принципи методології структурно-параметричного формоутворення, наведено ключові етапи побудови й використання відповідних моделей, подано засади узагальненої класифікації геометричних фігур на основі структурно-параметричного підходу.

3. Розроблено нові математичні методи варіантного формоутворення технічних систем у машинобудуванні.

4. Запропоновано застосування структурно-параметричних геометричних засобів для пошуку глобальних екстремумів у задачах оптимізації.

5. На базі структурно-параметричного підходу розроблено спосіб візуалізації багатовимірних об'єктів.

6. Показано можливість використання методології структурно-параметричного геометричного моделювання в інших, крім машинобудування, галузях життєдіяльності людини.

Достовірність й обґрунтованість одержаних результатів базується на доведенні тверджень, математичних викладках, зіставленні результатів тестових прикладів з уже відомими фактами, впровадженні у виробництво.

Практична цінність виконаних досліджень полягає в:

1. Узагальненні, систематизації та подальшому розвитку методології автоматизованого структурно-параметричного геометричного моделювання складної продукції машинобудування.

2. Розробці нових методик, прийомів й алгоритмів варіантного формоутворення, здійсненні їх програмної реалізації, проведенні комп'ютерних експериментів для апробації одержаних результатів та застосуванні їх на практиці.

Прикладна значущість виконаних досліджень підтверджується впровадженнями:

- на Авіаційному науково-технічному комплексі ім. О.К. Антонова (м. Київ) для удосконалення програмного забезпечення системи CADDS5/OPTEGRA, що використовується для автоматизованого проектування літаків;

- на ДП «Київський авіаційний завод «Авіант» для здійснення конструкторсько-технологічної підготовки серійного виробництва літаків і тролейбусів;

- на Харківському державному авіаційному виробничому підприємстві у плазово-шаблонному цеху під час виконання розрахунково-конструкторських робіт для виготовлення технологічного оснащення;

- у Науково-дослідному інституті автоматизованих систем та інформатики в суднобудуванні НДІ «Центр» (м. Миколаїв) при створенні системи формування тривимірних моделей корпусів суден;

- на ДП «Спеціальне проектно-технологічне бюро виробничих потужностей» Міністерства промислової політики України (м. Харків) для розробки методичного забезпечення та нормативних документів у галузі машинобудування з метою комплексної оптимізації промислового виробництва;

- на ДП «Державний інститут комплексних техніко-економічних досліджень» Міністерства промислової політики України (м. Київ) для проведення аналізу складних технічних систем та їх оптимізації;

- у Проектно-конструкторському технологічному бюро «Марінекс» (м. Київ) для конструювання та виготовлення навігаційних приладів і математичної обробки даних щодо рельєфу морського дна;

- у НТУУ «КПІ» під час викладання дисциплін «Проектування та конструювання літаків і вертольотів», «Новітні технології виробництва літальних апаратів», виконання курсових та дипломних проектів на факультеті авіаційних і космічних систем, проведення лекцій і практичних занять з інженерної графіки та комп'ютерного геометричного моделювання у процесі навчання студентів машинобудівних спеціальностей.

Особистий внесок здобувача. З 31 роботи, що виконані у співавторстві: 18 праць здійснено з участю наукового консультанта д.т.н., проф. В.В. Ваніна, яким визначено загальну спрямованість досліджень дисертанта та їх мету; в 7 публікаціях Вірченко Г.А. є науковим керівником здобувачів.

Особистий внесок автора у спільних виданнях полягає в розробці всіх теоретичних і практичних питань, що становлять наукову новизну дисертаційних досліджень. Докладно ці дані наведено у списку опублікованих праць.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідалися й обговорювалися на: україно-російських науково-практичних конференціях «Сучасні проблеми геометричного моделювання» (м. Харків, 2005, 2007 рр.); VI та VII міжнародних науково-технічних конференціях «Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки» (м. Київ, 2007, 2009 рр.); міжнародних науково-практичних конференціях «Актуальні проблеми геометричного моделювання» (м. Мелітополь, 2007, 2008 рр.); міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні проблеми геометричного моделювання» (м. Луцьк, 2008 р.; м. Мелітополь, 2009, 2010 рр.); VI міжнародній науково-практичній конференції «Геометричне моделювання та комп'ютерні технології: теорія, практика, освіта» (м. Харків, 2009 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні напрямки теоретичних і прикладних досліджень» (м. Одеса, 2010 р.); VII міжнародній науково-практичній конференції «Геометричне моделювання та комп'ютерний дизайн» (м. Одеса, 2010 р.); VII міжнародній Кримській науково-практичній конференції «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн» (м. Сімферополь, 2010 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні інновації в науці, освіті, виробництві та транспорті» (м. Одеса, 2010 р.); 2-й міжнародній науково-технічній конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій» (м. Львів, 2010 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Наукові дослідження та їх практичне застосування» (м. Одеса, 2010 р.); IX всеукраїнській науково-методичній конференції «Болонський процес: стан та перспективи розвитку вищої освіти в Україні» (м. Київ, 2010 р.); VI міжнародній науково-практичній конференції «Освіта та наука» (м. Софія, 2010 р., Болгарія); VII міжнародній науково-практичній конференції «Геометричне моделювання, комп'ютерні технології та дизайн: теорія, практика, освіта» (м. Ужгород, 2011 р.); VII міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні наукові дослідження» (м. Софія, 2011 р., Болгарія); VII міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні наукові досягнення» (м. Прага, 2011 р., Чехія); міжвузівських докторантських семінарах із прикладної геометрії при кафедрі нарисної геометрії та інженерної графіки КНУБА (м. Київ, 2009-2011 рр.); наукових семінарах кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки НТУУ «КПІ» (м. Київ, 2006-2011 рр.).

Публікації. Основний зміст дисертаційних досліджень висвітлено в 61 роботі (5 видано за кордоном), серед яких 38 – у збірниках наукових праць, 5 – у наукових журналах, 13 – у матеріалах і тезах конференцій, 1 – навчальний посібник, 3 – методичні вказівки, 1 – стандарт підприємства.

35 праць надруковано в наукових фахових виданнях згідно з переліком ВАК України, з яких 18 виконано одноосібно.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 338 найменувань та трьох додатків. Робота містить 367 сторінок, із них 254 основного тексту, в тому числі 98 рисунків і 7 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розглянуто сутність і сучасний стан існуючої наукової проблеми, обґрунтовано актуальність її розв'язання, сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, наведено наукову новизну одержаних результатів, висвітлено апробацію роботи та її впровадження у практику.

Перший розділ присвячено огляду літературних джерел, аналізу напрямків розвитку сучасного комп'ютерного геометричного моделювання та визначенню задач дисертаційних досліджень.

У нинішніх машинобудівних САПР прогресивні тенденції полягають у застосуванні параметричного формоутворення, яке даною науковою працею узагальнюється до структурно-параметричного моделювання кривих, поверхонь, тіл і багатовимірних об'єктів. При цьому кожна геометрична фігура подається як упорядкована сукупність певних компонентів, що, у свою чергу, можуть включати й інші елементи, найдрібнішими з яких є точки. Створюваний об'єкт обов'язково розглядається як потенційна складова системи більш високого ієрархічного рівня.

У дисертаційній роботі основну увагу приділено розробці математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення комп'ютерного геометричного моделювання технічних об'єктів.

Огляд літератури з машинобудування засвідчив важливість для даної галузі задач *структурно-параметричної оптимізації* виробів під час їх проектування, виготовлення й експлуатації та що ці питання може бути формалізовано з використанням структурно-параметричних геометричних моделей.

Здійснений аналіз сучасних методів геометричного моделювання й комп'ютерних технологій їх реалізації у сфері машинобудування показав:

- потребу визначення концептуальних засад методології структурно-параметричного формоутворення;
- доцільність побудови геометричних моделей, що забезпечують не тільки конкретні, а й узагальнені розв'язки, які більш пристосовані для типових і групових технологій машинобудування;
- необхідність визначення та систематизації основних задач структурно-параметричного формоутворення;
- потребу розробки нових методів та алгоритмів побудови й використання структурно-параметричних геометричних моделей для забезпечення інтегрованої комп'ютерної підтримки процесів проектування, виготовлення та експлуатації технічних об'єктів.

У **другому розділі**, на підставі аналізу питань автоматизованого опрацювання технічної продукції, подано загальну методику проведення досліджень та окреслено типові геометричні задачі структурно-параметричного моделювання об'єктів машинобудування.

Для більшості машин, незалежно від їх призначення, характерний життєвий цикл (рис. 1), який складається з етапів *проектування, виробництва та експлуатації*. Якість цих об'єктів, що визначається такими показниками як продуктивність, економічність, надійність, ремонтпридатність, екологічність тощо виявляється під час їх експлуатації, а формується на всіх етапах життєвого циклу.

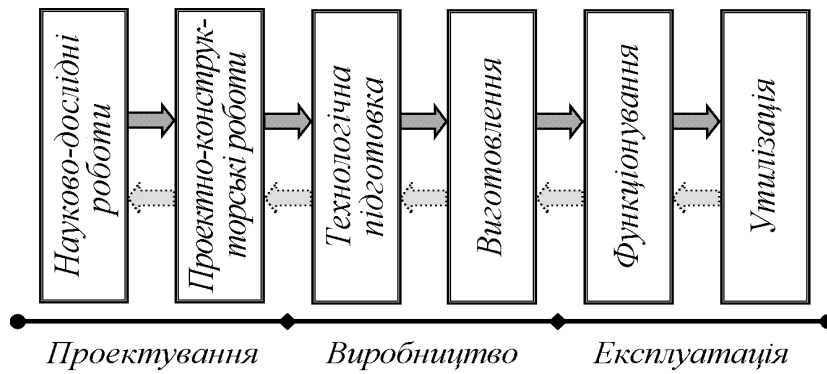


Рис. 1. Життєвий цикл продукції машинобудування

На рис. 1 штриховими стрілками оберненого напрямку показано процес урахування наступними виробами виявлених особливостей їх попередників. Зазначений процес обумовлює циклічне покращення властивостей створюваної продукції. З метою досягнення *комплексних оптимальних інтегральних результатів* етапи життєвого циклу технічної продукції розглядаються як *багатоваріантні*.

Геометрія виробів машинобудування присутня на всіх етапах їх життєвого циклу, тісно пов'язана з процесами проектування, виробництва та експлуатації й завдяки цьому здатна бути інтегруючим підґрунтям під час автоматизованого опрацювання різних питань багатьма технічними спеціалістами.

У дисертаційній роботі наведено загальну структуру об'єктів машинобудування (рис. 2) та схему виробництва деталей і складаних одиниць (рис. 3).

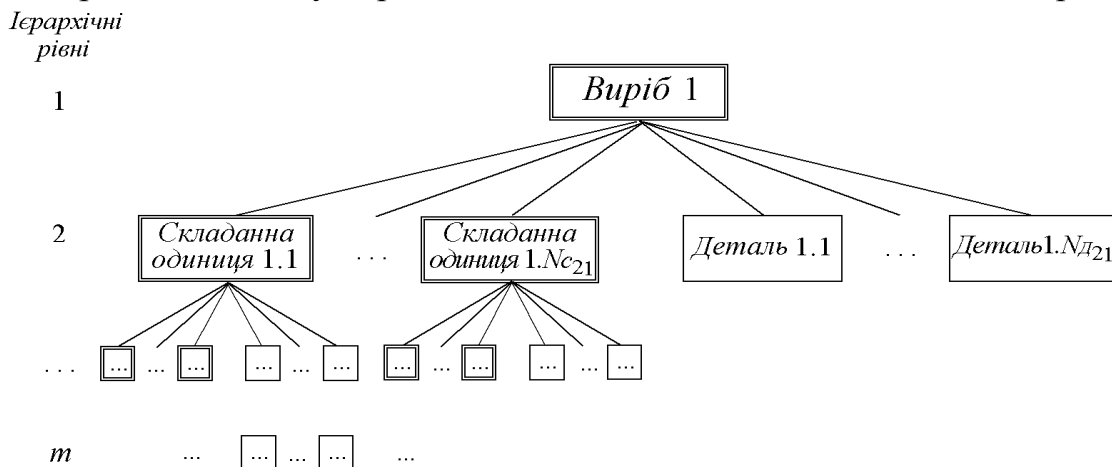


Рис. 2. Структура об'єктів машинобудування

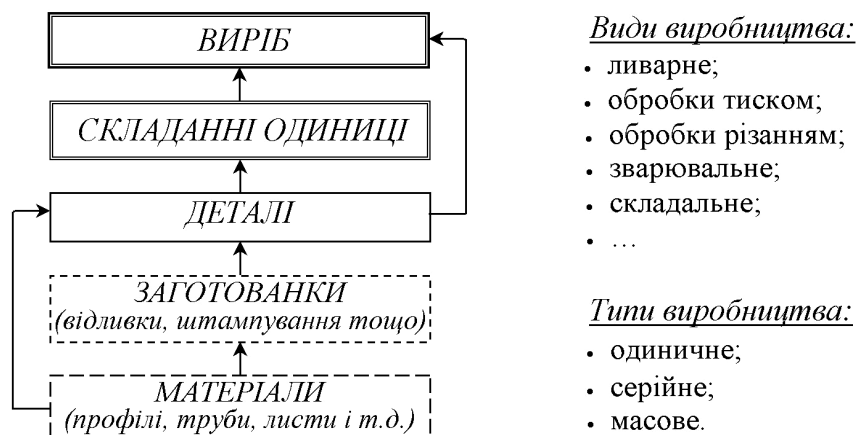


Рис. 3. Схема виробництва об'єктів машинобудування

Об'єкти і процеси машинобудування мають певну впорядковану структуру. Звідси випливає вимога до геометричних моделей раціонально відображувати в наведеному аспекті дані об'єкти і процеси.

Для комп'ютерного формоутворення потрібно продуктивно реалізувати розв'язування задач *декомпозиції* та *синтезу*, тобто ефективний поділ складних фігур на більш прості та побудову з елементів нижчих ієрархічних рівнів геометричних об'єктів вищих щаблів. При цьому треба забезпечити *структурну й параметричну варіантність компонентів та зв'язків між ними*, здатність до проведення відповідної *оптимізації й інтеграції з математичними описами інших дисциплін*.

Третій розділ присвячено узагальненню й розвитку теоретичних основ структурно-параметричного підходу до комп'ютерного геометричного моделювання, створенню на базі цього єдиної концепції побудови різноманітних фігур – точок, ліній, поверхонь, тіл, їх комбінацій тощо.

Проблема опрацювання складних об'єктів досить часто обумовлює їх поділ на компоненти нижчих ієрархічних рівнів. При цьому забезпечується полегшена робота з отриманими частинами, однак стають важчими задачі подальшого синтезу. Отже, виникає завдання визначення раціонального компромісу між простотою окремих елементів, мінімальною їх кількістю та складністю внутрішніх взаємозв'язків сформованої в такий спосіб системи.

У дисертаційній роботі за основу структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання взято вимірність фігур. *Точки, лінії, поверхні та тіла* є відповідно *нуль-, одно-, дво- і тривимірними фігурами*, що застосовуються для безпосереднього відтворення об'єктів машинобудування. Показано, що прикладом збільшення вимірності слугує кінематичне формоутворення, а її зменшення – різноманітні прийоми проєціювання.

Доведено ряд тверджень стосовно подання скінченних n -вимірних ($n \in \mathbb{N}$) об'єктів множинами геометричних елементів.

Запропоновано визначення *структурно-параметричної геометричної моделі* (СПГМ) як деякої сукупності компонентів, що мають певні геометричні параметри.

Доведено твердження про можливість відтворення довільного скінченного n -вимірного ($n \in \mathbb{N}$) геометричного об'єкта за допомогою СПГМ.

Наведено означення *комплексної геометричної моделі* (КГМ) як сукупності кількох взаємопов'язаних математичних моделей, не обов'язково всіх геометричних, для яких базовими є останні.

Сформульовано визначення *комбінаторно-варіаційної геометричної моделі* (КБВГМ), що завдяки комбінаторним сполукам своїх елементів та зміні значень їх параметрів здатна породжувати *комбінаторно-варіаційні геометричні об'єкти*.

Загальні положення запропонованої концепції комп'ютерного структурно-параметричного формоутворення проілюстровано на прикладі об'єкта (1), що спочатку містить два окремі топологічно еквівалентні поверхням тора елементи (рис. 4, а), які в декартовій системі координат $Oxuz$ визначаються радіусами-векторами \mathbf{r}_i

$$\mathbf{r}_i(u, v, p_{k_i}) = \mathbf{r}_i[p_{1_i} + (p_{4_i} + p_{5_i} \cos u) \cos v, p_{2_i} + (p_{4_i} + p_{6_i} \cos u) \sin v, p_{3_i} + p_{7_i} \sin u];$$

$$u \in [p_{8_i}, p_{9_i}]; v \in [p_{10_i}, p_{11_i}]; k \in \{1, \dots, 11\}, \quad (1)$$

де $i \in \{1; 2\}$ – номер елемента;

u, v, p_{k_i} – параметри.

Шляхом варіювання у виразі (1) параметрів положення елемента \mathbf{r}_2 , формується складена фігура (рис. 4, б). Завдяки певним змінам значень параметрів геометричний елемент \mathbf{r}_1 вироджується в порожню множину, \mathbf{r}_2 робиться сферою (рис. 4, в), що може стати дугою кола (рис. 4, з).

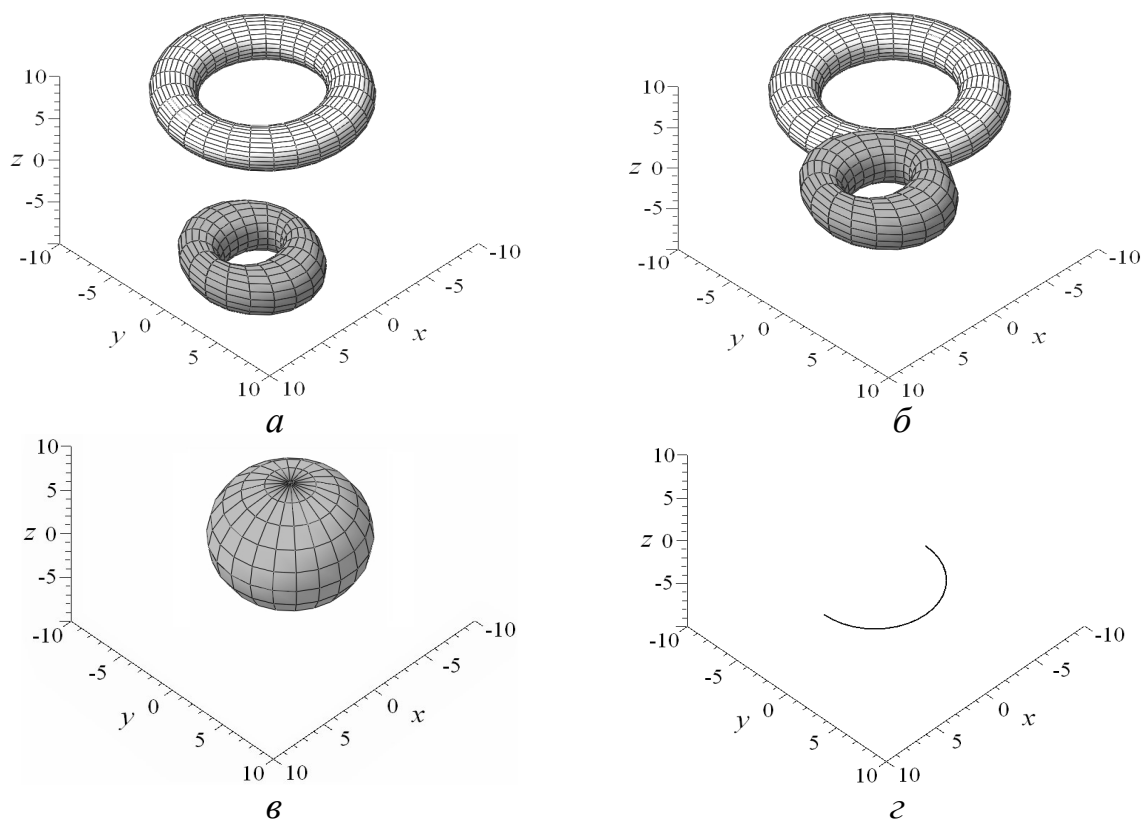


Рис. 4. Параметричні модифікації СПГМ:
 а – вихідна фігура; б – формування складеної фігури;
 в – сфера; з – дуга кола

Продемонстровано, виходячи з наявного параметричного опису поверхні, можливість формоутворення на її основі ліній і точок. Обґрунтовано поширення розглянутих прийомів на побудову тіл і багатовимірних об'єктів.

Так, зокрема, узагальненням рівняння першого елемента СПГМ (1) отримано тіло

$$\begin{aligned} & \mathbf{r}_1(u, v, w, p_{k_1}) = \\ & = \mathbf{r}_1[p_{1_1} + (p_{4_1} + (p_{5_1} + w)\cos u)\cos v, p_{2_1} + (p_{4_1} + (p_{6_1} + w)\cos u)\sin v, p_{3_1} + (p_{7_1} + w)\sin u]; \\ & u \in [p_{8_1}, p_{9_1}]; v \in [p_{10_1}, p_{11_1}]; w \in [p_{12_1}, p_{13_1}]; k \in \{1, \dots, 13\}, \end{aligned} \quad (2)$$

де u, v, w, p_{k_1} – параметри.

Один із його варіантів зображено на рис. 5, а. Залежно від конкретних значень параметрів, вираз (2) може описувати тіло, поверхню, лінію, точку або порожню множину.

Загальна форма визначення радіуса-вектора \mathbf{r}_i деякого i -го ($i \in N$) елемента СПГМ у n -вимірному ($n \in N$) просторі

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{r}_i(u_{1_i}, \dots, u_{j_i}, p_{1_i}, \dots, p_{k_i}); u_{j_i} \in [u_{\min j_i}, u_{\max j_i}], j \leq n, \quad (3)$$

де u_{j_i} – параметри-змінні;

p_{k_i} – параметри-сталі;

j, k – цілі невід'ємні числа.

Для ілюстрації, згідно з формулою (3), збільшено вимірність об'єкта (2) на одиницю

$$\begin{aligned} & \mathbf{r}_1(u, v, w, t, p_{k_1}) = \\ & = \mathbf{r}_1[p_{1_1} + (p_{4_1} + (p_{5_1} + w)\cos u)\cos v, p_{2_1} + (p_{4_1} + (p_{6_1} + w)\cos u)\sin v, p_{3_1} + (p_{7_1} + t + w)\sin u]; \\ & u \in [p_{8_1}, p_{9_1}]; v \in [p_{10_1}, p_{11_1}]; w \in [p_{12_1}, p_{13_1}]; t \in [p_{14_1}, p_{15_1}]; k \in \{1, \dots, 15\}, \quad (4) \end{aligned}$$

де u, v, w, t, p_{k_1} – параметри.

Один із варіантів фігури (4) показано на рис. 5, б. Наведений приклад вартий уваги з точки зору теорії комп'ютерного формоутворення та практики машинобудування, оскільки динамічно змінюваними в часі твердотільними об'єктами можна моделювати різноманітні технологічні процеси (ТП). У розглянутому випадку це стосується витягування деталей із листа.

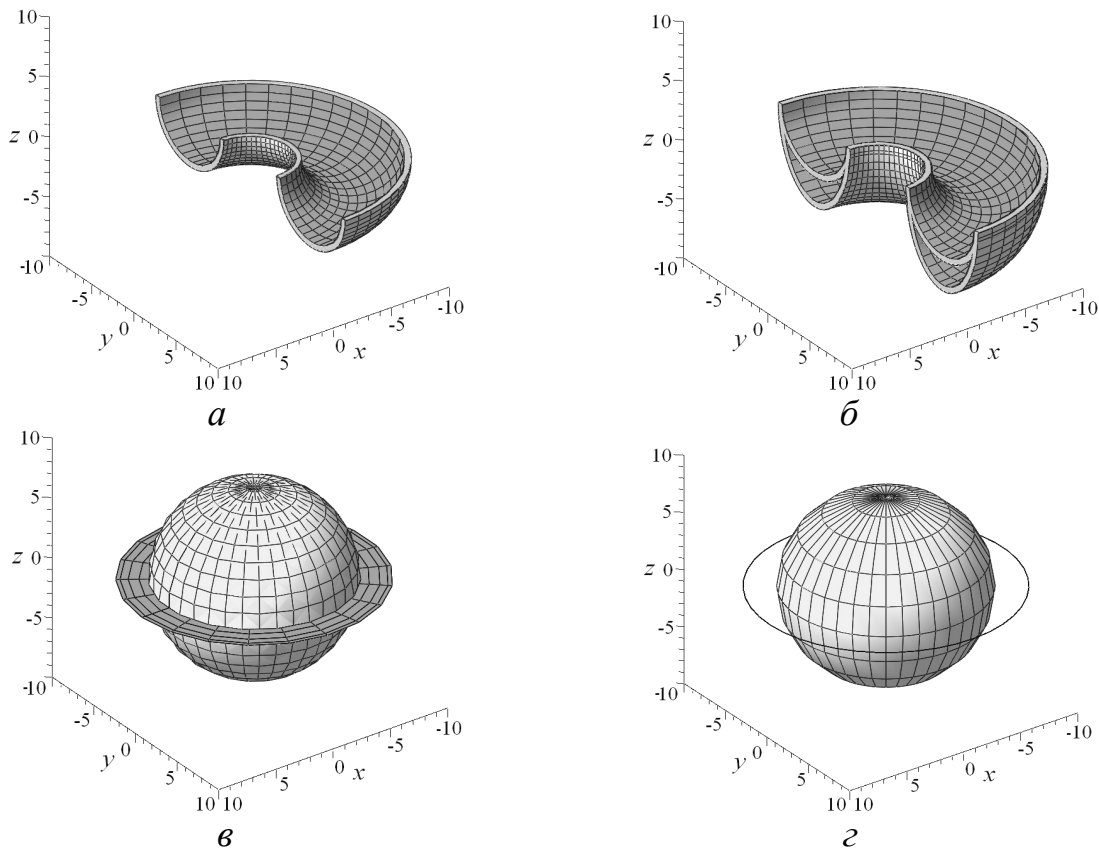


Рис. 5. Узагальнені геометричні фігури:

а – тіло згідно з формулою (2); *б* – дискретна візуалізація двома тривимірними елементами фігури (4); *в* – об'єднання кулі та кругового кільця; *г* – геометричний об'єкт у вигляді кулі й кола

На рис. 5, в подано складену фігуру, яку побудовано на базі об'єднання двох елементів: кулі згідно з формулою (2) та кругового кільця, отриманого відповідно до залежності (1). Завдяки зменшенню проміжку варіювання одного з параметрів даний об'єкт стає кулею та колом (рис. 5, г).

У дисертації проаналізовано комп'ютерні каркасні моделі (*wireframe models*), поверхневі (*surface models*) та твердотільні (*solid models*). Обґрунтовано узагальнюючу роль серед них твердотільних геометричних моделей та їх найбільшу придатність для використання в галузі машинобудування.

Розглянуто способи комп'ютерного формування тіл, зокрема, *O-rep* (рис. 6, *a*) і *C-rep* (рис. 6, *б* і рис. 6, *в*). За основний у даному дослідженні обрано *B-rep* (*Bounded representation*) спосіб *граничного подання*. Показано, що всі ці засоби є окремими випадками застосування загальної структурно-параметричної методології геометричного моделювання.

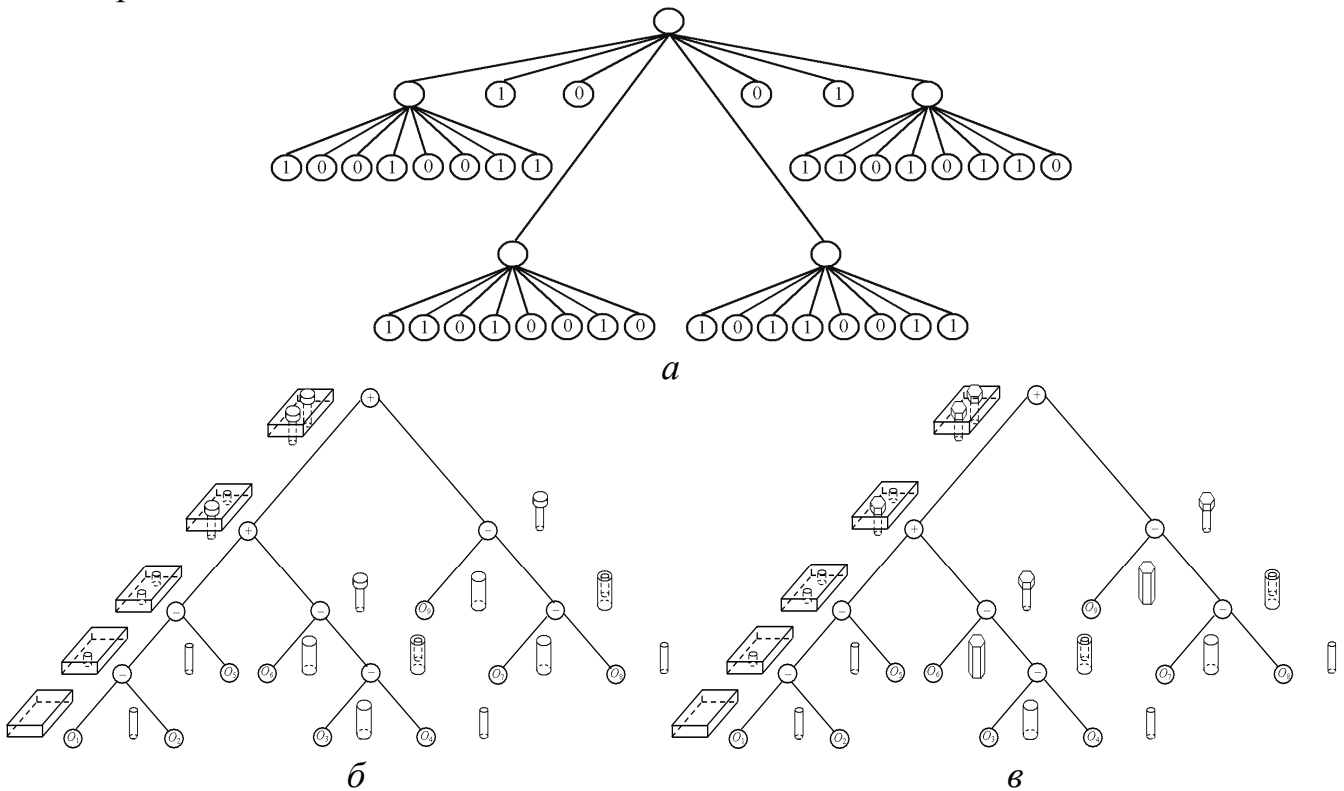


Рис. 6. Способи комп'ютерного формування тіл:

a – октантного дерева (*Octant trees representation*); *б* – конструктивної геометрії (*Constructive representation*)

Запропоновано методи структурно-параметричного формування, які забезпечують продуктивне розв'язування складних задач варіантного проектування технічних об'єктів. Наприклад, для параметричних модифікацій у сучасних машинобудівних САПР проблематичними постають, зокрема, питання трансформації існуючих циліндричних головок кріпильних елементів (рис. 6, *б*) у шестигранні (рис. 6, *в*), зміни їх кількості тощо. Це призводить до потреби окремого розроблення кількох, у наведеному випадку двох, структурних варіантів складанної одиниці, що, як наслідок, обумовлює суттєве зростання трудомісткості конструювання.

Напрацьовані прийоми формування дозволяють замість використання багатьох поодиноких проектних варіантів застосовувати *узагальнені геометричні моделі*. При цьому головна ідея полягає в наданні структурно-параметричних властивостей як усій відтворюваній системі, так і окремим її елементам. У розглянутому вище прикладі це стосується можливостей:

- формування кріпильного елемента локальною геометричною моделлю, за потреби, з циліндричною або шестигранною головкою та виродження його в порожню множину, що необхідно для варіювання кількістю кріплень у складанній одиниці;
- використання деякої керуючої структури, яка, згідно з наявними умовами, генерує конкретну необхідну конфігурацію виробу, в даному випадку дерево побудов рис. 6, *б* або рис. 6, *в*.

Оскільки для обраного *B-rep* способу комп'ютерного твердотільного моделювання технічних об'єктів базовими є лінії та поверхні, то зазначені фігури досліджено з комбінаторно-варіаційних позицій.

Обґрунтовано відповідність структурно-параметричному варіантному формоутворенню найбільш поширених у машинобудуванні ліній, а саме:

- кривих другого порядку

$$\mathbf{r}(u) = \frac{w_0(1-u)^2\mathbf{r}_0 + w_1 2u(1-u)\mathbf{r}_1 + w_2 u^2\mathbf{r}_2}{w_0(1-u)^2 + w_1 2u(1-u) + w_2 u^2} = \sum_{i=0}^{n=2} f_i(u)\mathbf{r}_i, \quad (5)$$

де $u \in [0, 1]$ – параметр;

$w_0=w_2=1, w_1 \geq 0$ – сталі;

$\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$ – радіуси-вектори опорних точок;

$f_0(u)=w_0(1-u)^2/w, f_1(u)=w_1 2u(1-u)/w, f_2(u)=w_2 u^2/w$ – вагові функції;

$w=w_0(1-u)^2+w_1 2u(1-u)+w_2 u^2$,

- неоднорідних раціональних B-сплайнів (NURBS)

$$\mathbf{r}(u) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u)w_i\mathbf{r}_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u)w_i}, \quad (6)$$

де $N_{i,k}(u)$ – параметричні залежності, що розраховуються рекурсивно згідно з формулами Кокса й де Бура,

\mathbf{r}_i – радіуси-вектори опорних точок;

w_i – вагові коефіцієнти,

$2 \leq k \leq n+1$ – порядок сплайна.

Показано узагальнюючий характер виразу (6) по відношенню до формули (5) і можливість поширення на нього поданих на рис. 7 прийомів комбінаторно-варіаційного геометричного моделювання кривих другого порядку.

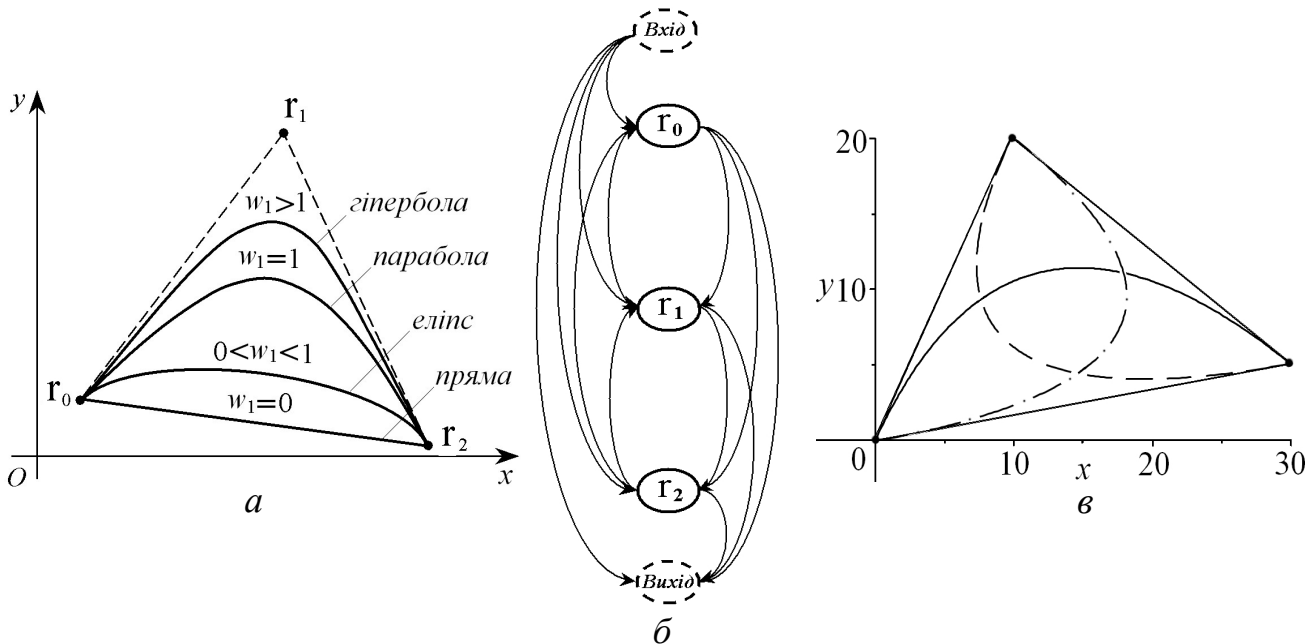


Рис. 7. Комбінаторно-варіаційне формоутворення дуг кривих другого порядку: *a* – параметричне моделювання; *б* – граф КВВГМ; *в* – різновиди комбінаторно-варіаційного геометричного об'єкта

Щоб отримати на підставі співвідношень (5) КБВГМ, для опорних точок \mathbf{r}_i застосовано розміщення з $n+1$ елементів по m ($m \leq n+1$; $m \in \mathbb{Z}$; $m \geq 0$)

$$A_{n+1}^m = \frac{(n+1)!}{(n+1-m)!}. \quad (7)$$

Згідно з формулою (7) маємо: $A_3^0 = 1$ – порожню множину, тобто зникнення даного об'єкта; $A_3^1 = 3 - \{\mathbf{r}_0\}, \{\mathbf{r}_1\}, \{\mathbf{r}_2\}$, тобто виродження досліджуваної фігури в одну з перерахованих точок; $A_3^2 = 6 - \{(\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1), (\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_0)\}, \{(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2), (\mathbf{r}_2, \mathbf{r}_1)\}, \{(\mathbf{r}_2, \mathbf{r}_0), (\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_2)\}$, тобто один із трьох зазначених прямолінійних відрізків, які, за потреби, відрізняються своїми напрямками; $A_3^3 = 6 - \{(\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2), (\mathbf{r}_2, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_0)\}, \{(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_0), (\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_1)\}, \{(\mathbf{r}_2, \mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1), (\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_0, \mathbf{r}_2)\}$, тобто одну з трьох дуг, що за необхідності різняться напрямками, з відповідними опорними точками.

Запропоновано, з використанням виконаної на засадах структурно-параметричного підходу систематизації застосовуваних у машинобудівних САПР ліній, класифікацію поверхонь, яку подано в табл. 1.

Кінематична класифікація поверхонь тривимірного простору *Таблиця 1*

		Напрямна(<i>i</i>) лінія(<i>i</i>)			
		першого порядку	другого порядку	вищого порядку	інша(<i>i</i>)
Твірна(<i>i</i>) лінія(<i>i</i>)	першого порядку	площина, коса площина ...	циліндрична другого порядку, кругова конічна ...	циліндрична вищого порядку ...	рух прямої вздовж синусоїди ...
	другого порядку	циліндрична другого порядку, кругова конічна ...	гіперболічний параболоїд, поверхня тора ...	рух кола між двома плоскими кривими вищого порядку ...	рух кола вздовж синусоїди ...
	вищого порядку	циліндрична вищого порядку ...	обертання вищого порядку ...	рух однієї кривої локон Аньєзі вздовж іншої ...	рух кривої локон Аньєзі вздовж синусоїди ...
	інша(<i>i</i>)	рух синусоїди вздовж прямої ...	рух синусоїди вздовж кола ...	рух синусоїди вздовж кривої локон Аньєзі ...	інші довільного виду

Комірки табл. 1 являють собою компоненти декартового добутку множини

$$L = (l_i)_1^4, \quad (8)$$

що відтворює систематизацію ліній, де l_1, l_2, l_3, l_4 – відповідно лінії першого, другого, вищих порядків та інші.

Формальний опис геометричних фігур має вигляд:

- поверхонь

$$\Pi = L \times L = L^2, \quad (9)$$

- тіл

$$T = L^3 = \Pi \times L, \quad (10)$$

- багатовимірних

$$B = L^n, \quad (11)$$

де $n \in N, n \geq 4$.

З позицій структурно-параметричної методології геометричного моделювання досліджено аналітичні описи найбільш поширених у техніці поверхонь, декотрі з яких показано на рис. 8. Обґрунтовано необхідність застосування управляючих структур, що здатні ефективно керувати комп'ютерним комбінаторно-варіаційним формоутворенням розглянутих фігур.

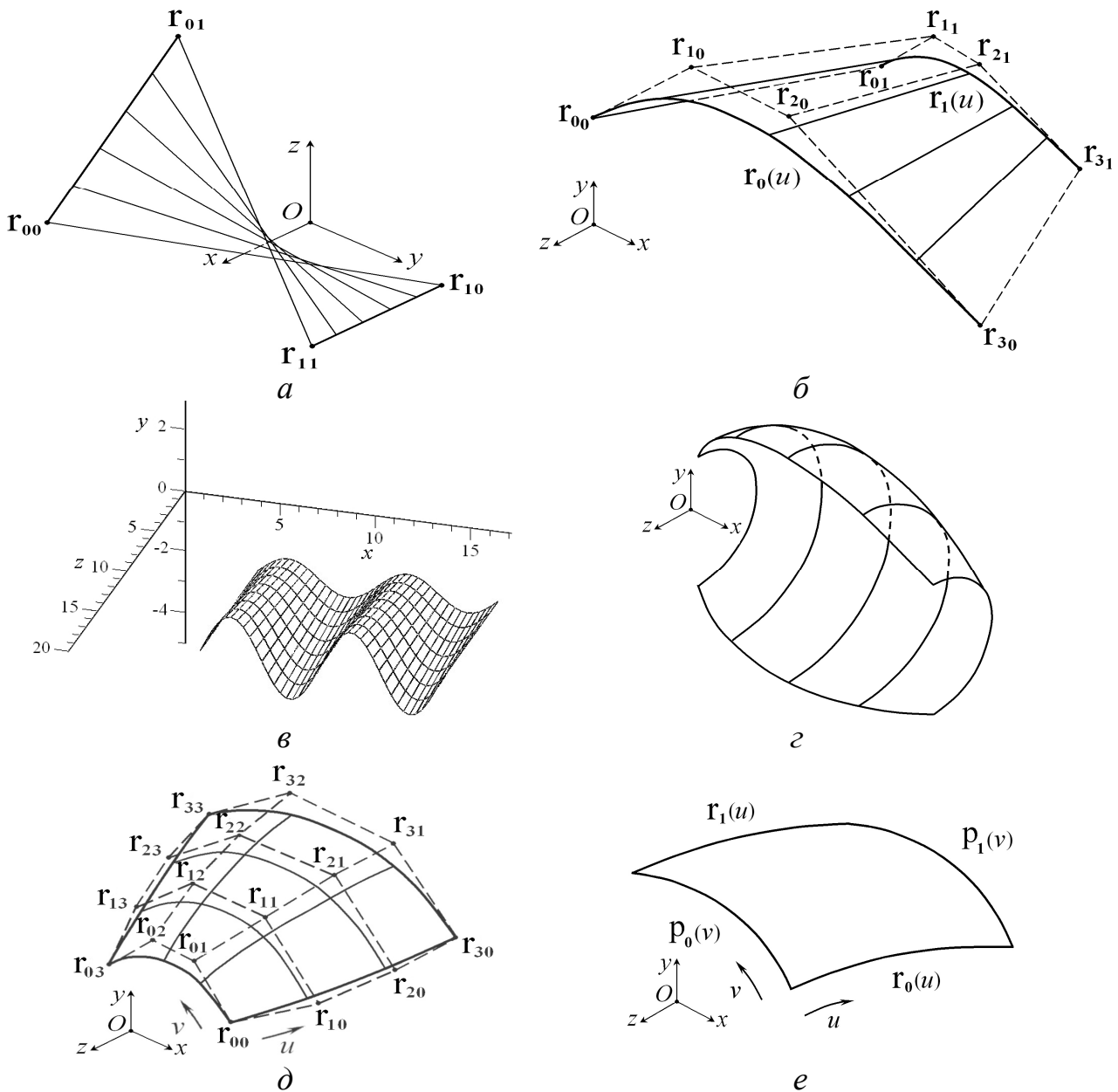


Рис. 8. Приклади проаналізованих у структурно-параметричному аспекті поверхонь:

a – білінійна; *б* – лінійчаста кубічна поверхня Безьє; *в* – лінійчаста з трансцендентними напрямними; *г* – поверхня обертання на основі NURBS; *д* – бікубічна поверхня Безьє; *е* – поверхня Кунса

Визначено базові *принципи* розробки й використання СПГМ (КБВГМ):

- *системного підходу*, що потребує розгляду опрацьовуваного об'єкта одночасно як множини певних взаємопов'язаних елементів та потенційного компонента системи більш високого ієрархічного рівня;

- *варіантності*, який полягає в забезпеченні СПГМ гнучкого, продуктивного, прогнозованого і зручного формування структурних та параметричних різновидів досліджуваного об'єкта;

- *універсальності*, що вимагає розв'язування достатньо широкого кола задач, а не окремих їх випадків;

- *оптимальності*, тобто наявності в СПГМ засобів для визначення раціональних значень параметрів і характеристик відтворюваного об'єкта;

- *відкритості та розвитку*, що зводиться до можливості простого оновлення й розширення складових компонентів СПГМ;

- *комплексного підходу*, який полягає у пристосуванні СПГМ до потреб інших математичних описів досліджуваного об'єкта.

Формоутворення машинобудівної продукції, спираючись на наведені вище базові принципи, може додатково доповнюватися більш докладними умовами згідно з наявними конкретними вимогами.

Запропоновано ключові етапи розробки та застосування СПГМ (КБВГМ):

1. *Аналіз об'єкта й формування складу його елементів*. При цьому, відповідно до принципу варіантності, потрібно достатньо повно розглядати можливі структурно-параметричні різновиди елементів.

2. *Визначення зв'язків між виділеними частинами, тобто розробка структури об'єкта, що моделюється*.

3. *Опрацювання порядку синтезу об'єкта та формування інтегральних параметрів і характеристик для забезпечення зручного його включення до складу геометричних та інших систем більш високого рівня*.

4. *Розробка нових або застосування існуючих математичних моделей для наявних елементів і зв'язків між ними*. Згідно з принципом комплексного підходу геометричні дані, як об'єктивна основа для узгодженого поєднання описів інших дисциплін, можуть доповнюватися відповідними моделями досліджуваного об'єкта.

5. *Проведення оптимального (раціонального), для заданих умов, геометричного моделювання*.

Узагальнено базові положення способу реалізації структурно-параметричного формоутворення з використанням теорії множин і графів.

У цьому випадку склад довільного об'єкта O подається множиною

$$O = (o_i)_1^N, \quad (12)$$

де o_i – його елементи (частини, компоненти тощо).

Різновиди o_i відтворюються кортежами варіантів

$$o_i = (o_{ij})_1^{N_i}, \quad (13)$$

та векторами параметрів

$$P_{ij} = (p_{ijk})_1^{Np_{ij}}, \quad (14)$$

де Np_{ij} – кількість параметрів j -го варіанта i -го елемента.

Структурний взаємозв'язок між різновидами n -ї та m -ї складової об'єкта O відображають матриці суміжності (рис. 9, а)

$$C_{nm} = \|c_{nr} c_{ms}\|; n \in N; m \in N; n \neq m; r \in \{1, \dots, N_n\}; s \in \{1, \dots, N_m\}, \quad (15)$$

де $c_{nr} c_{ms} \neq 0$ при можливій взаємодії варіантів o_{nr} та o_{ms} , $c_{nr} c_{ms} = 0$ – у протилежному випадку.

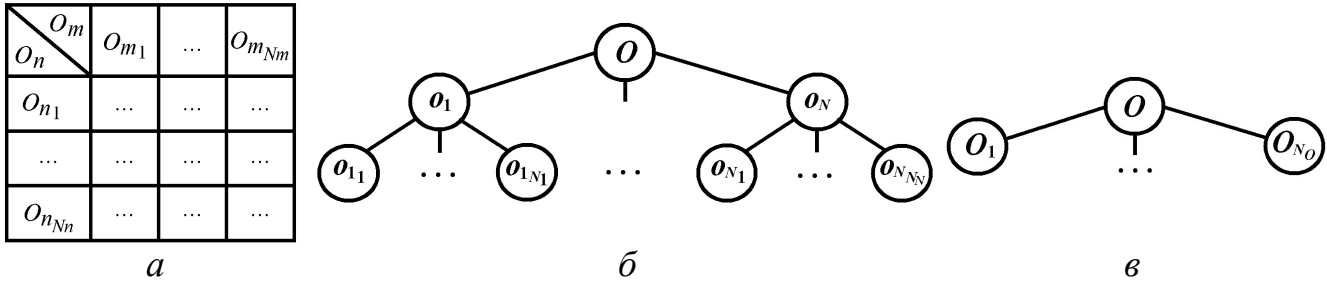


Рис. 9. Компоненти структурної моделі довільного об'єкта O :
а – матриця суміжності різновидів елементів o_n та o_m ; б – граф структури;
в – граф варіантів

Подальший крок структурно-параметричного геометричного моделювання, після проведення декомпозиції досліджуваного об'єкта та визначення його внутрішніх зв'язків, полягає у формуванні інтегральних параметрів і характеристик, обчислення яких спирається на певний механізм комбінаторного синтезу створюваної системи з окремих її елементів.

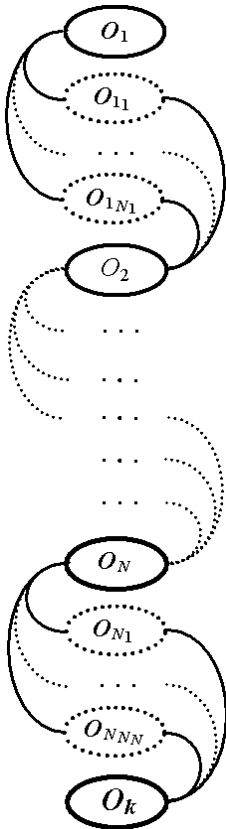


Рис. 10. Порядок синтезу структурно-параметричного об'єкта O

У випадку використання для цього (рис. 10) неорієнтованого графа, вершинами якого, згідно з формулою (12), є елементи o_i досліджуваного об'єкта O , а ребрами – геометричні моделі (13), що реалізують дані елементи зі значеннями параметрів (14), оптимальний структурно-параметричний (комбінаторно-варіаційний) варіант O_{konm} обчислюється поданим нижче способом.

Оскільки кожний різновид O_k об'єкта O являє собою простий елементарний ланцюг із початком у вершині O_1 та кінцем в O_N , то загальна їх кількість N_O визначається елементами матриць (15), для опрацювання яких розроблено алгоритм визначення складу проектних варіантів O_k . Величинам параметрів (14) та їх аналітичним комбінаціям у вигляді цільових функцій ставляться у відповідність довжини належних ребер. Пошук оптимального структурно-параметричного варіанта об'єкта O зводиться до визначення екстремального ланцюга в показаному на рис. 10 графі.

Виконано узагальнюючий опис структурних і параметричних складових СПГМ, опрацьовано два методи подання внутрішньої будови досліджуваних об'єктів – ієрархічний і мережний.

Ієрархічний метод більш придатний для моделювання зафіксованої на певний момент часу структури (рис. 2), а мережний – для відтворення процесу її синтезу (рис. 3).

Рис. 11 ілюструє застосування мережного методу на прикладі кінематичного формування поверхонь Φ_i ($i \in N$), де $\Phi_i(\Gamma_i)[A_i]$ – їх визначники, $\Gamma_i=(t_i, n_i)$ та $A_i=(A_{in}, A_{it})$ – геометрична й алгоритмічна частини визначників, $t_i = (t_{ik})_1^{Nt_i}$ та $n_i = (n_{ik})_1^{Nn_i}$ – відповідно кортеж твірних і напрямних, $A_{in} = (A_{in_k})_1^{NA_{in}}$ та $A_{it} = (A_{it_k})_1^{NA_{it}}$ – множини алгоритмів руху твірних t_i та зміни їх при цьому.

Параметричні компоненти СПГМ деяких поширених у машинобудуванні фігур наведено на рис. 12 у вигляді аналітичних виразів ребер графів.

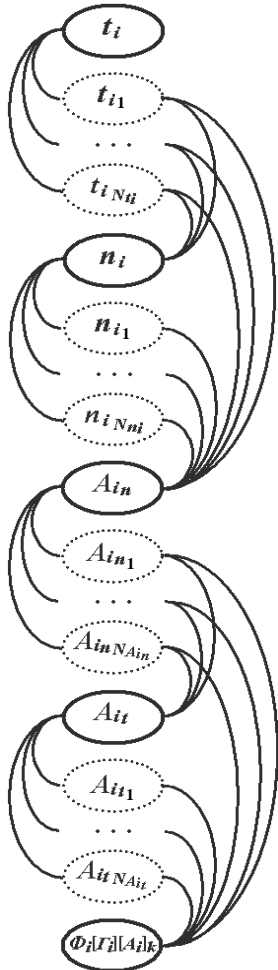


Рис. 11. Структурна мережна модель формування кінематичних поверхонь

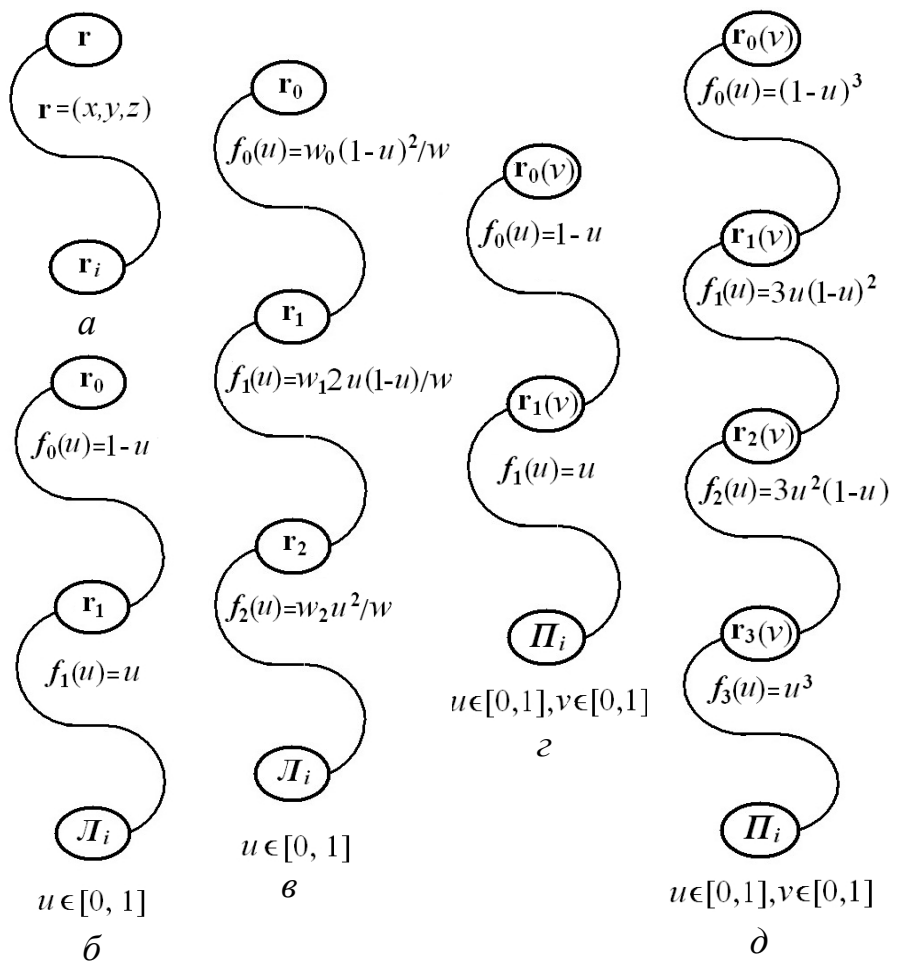


Рис. 12. Структурно-параметричні моделі: а – точок; б – відрізків прямих; в – дуг кривих другого порядку; д – кубічних поверхонь Безьє

У параметричному аспекті важливою особливістю запропонованого способу моделювання є його пристосованість до варіантного подання розрахункових властивостей досліджуваних об'єктів. Це стосується не тільки геометричних величин (довжин, площ, об'ємів та ін.), а й, що особливо актуально для машинобудування, наприклад, таких супутніх формоутворенню деталей і складаних одиниць технічних показників як продуктивність, якість, собівартість тощо. Останній факт стає основою для розробки, на засадах структурно-параметричного підходу, комп'ютерних КГМ. Їх універсальними компонентами повинні бути різноманітні засоби оптимізації, а спеціальними – розрахунки на міцність, технологічні, економічні і т. д.

У четвертому розділі дисертації розроблено методи та алгоритми структурно-параметричного геометричного моделювання ребер, граней і тіл, розв'язування задач оптимізації та візуалізації багатовимірних об'єктів. Основну увагу приділено методам й алгоритмів, що інваріантні до аналітичних описів застосовуваних параметричних кривих та поверхонь, тіл і багатовимірних фігур.

Під час формоутворення тіл *B-rep* способом важливими є питання взаємодії поміж собою у тривимірному просторі ліній і поверхонь, тобто позиційні задачі для зазначених об'єктів. У даному дослідженні запропоновано удосконалені методи, які доведено до конкретних алгоритмів і реалізовано у вигляді комп'ютерних програм, для обчислення перетинів довільних параметричних кривих і поверхонь.

Знаходження перетину кривих, координати радіуса-вектора \mathbf{r} яких у прямокутній декартовій системі *Oxyz* визначаються аналітичними функціями параметра u

$$\mathbf{r}(u) = \mathbf{r}[x(u), y(u), z(u)], \quad u \in [u_{\min}, u_{\max}], \quad (16)$$

здійснюється у два етапи:

- на першому – шляхом апроксимації методом поділу навпіл параметричних проміжків визначення вихідні лінії замінюються ламаними;

- на другому – розраховуються перетини одержаних відрізків.

Для з'ясування відхилень на поточній частині кривої, якій відповідає проміжок зміни параметра $u \in [u_n, u_k]$, де спочатку це $[u_{\min}, u_{\max}]$, для $N_m = 2^k - 1$ внутрішніх контрольних точок ($k \in N$) із значеннями параметра

$$u_m = u_n + \left(0,5 + \frac{(-1)^m [m/2] + qm}{N_m + 1}\right) \cdot (u_k - u_n), \quad |q| < 1/N_m, \quad m \in \{1, \dots, N_m\},$$

згідно з дефініцією (16) розраховуються координати радіусів-векторів $\mathbf{r}_m = \mathbf{r}_m(u_m)$, а також кінцеві точки $\mathbf{r}_n = \mathbf{r}_n(u_n)$ і $\mathbf{r}_k = \mathbf{r}_k(u_k)$ поточного апроксимуючого відрізка, й порівнюються квадрати довжин перпендикуляра h_m від \mathbf{r}_m до відрізка $\mathbf{r}_n \mathbf{r}_k$ та допустимого відхилення δ

$$h_m^2 = \frac{((\mathbf{r}_m - \mathbf{r}_n) \times (\mathbf{r}_k - \mathbf{r}_n))^2}{(\mathbf{r}_k - \mathbf{r}_n)^2} \leq \delta^2. \quad (17)$$

Використання h_m^2 обумовлено метою підвищення швидкодії комп'ютерних розрахунків, оскільки при цьому відпадає потреба в додатковому застосуванні функції кореня для визначення дійсної величини h_m . Якщо умову (17) не дотримано, то досліджувана частина кривої зменшується скороченням поточного проміжку параметра u у два рази до виконання зазначеної вимоги.

На етапі розрахунку перетинів одержаних ламаних розв'язками даної задачі вважаються не тільки точки, а і спільні частини опрацьовуваних фігур у вигляді прямолінійних відрізків.

Поданий спосіб визначення перетину ліній (16) інваріантний до наявних аналітичних функцій, не потребує обчислення їх похідних, гнучко адаптується до необхідної точності розрахунків і раціонального використання комп'ютерних ресурсів, забезпечує знаходження нескінченних множин розв'язків у випадку, коли певні ділянки досліджуваних ліній збігаються, може бути застосований як компонент математичного забезпечення для формоутворення складніших фігур.

Наведений матеріал підтверджує доцільність використання структурно-параметричної методології для опрацювання геометричних питань, оскільки при цьому деяка задача поділяється на сукупність простіших. Зростання кількості останніх компенсується продуктивними можливостями комп'ютерної техніки. Розглянуті прийоми моделювання ілюструють практичну реалізацію сформульованих у третьому розділі принципів *системного підходу* та *універсальності*.

Подальшим узагальненням описаного методу перетину кривих є визначення перетину довільних параметричних поверхонь, координати радіуса-вектора \mathbf{r} яких у прямокутній декартовій системі $Oxyz$ подаються аналітичними функціями

$$\mathbf{r}(u, v) = \mathbf{r}[x(u, v), y(u, v), z(u, v)], \quad u \in [u_{\min}, u_{\max}], \quad v \in [v_{\min}, v_{\max}], \quad (18)$$

де u, v – параметри.

Розв'язування цієї задачі також здійснюється у два етапи:

- на першому – вихідні поверхні апроксимуються багатограними у вигляді множин трикутників;

- на другому – для отриманих трикутників розраховуються їх перетини, з яких формуються потрібні розв'язки.

В основі запропонованих прийомів моделювання лежить викладений вище спосіб апроксимації ліній, що в даному випадку використовується для параметрів u та v . Поточна ділянка опрацьовуваної поверхні у вигляді топологічного прямокутника, який обмежується лініями параметрів u та v , за умов забезпечення потрібних відхилень на його сторонах і діагоналях, замінюється двома трикутниками.

На етапі розрахунку перетинів отриманих трикутників розв'язками задачі вважаються не тільки відрізки, а й точки та спільні частини опрацьовуваних фігур у вигляді n -кутників, де $n \in \{3, \dots, 6\}$. Для поточних $\Delta A_i B_i C_i$ та $\Delta A_j B_j C_j$ двох досліджуваних поверхонь, із застосуванням позначень

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_s &= (a_{sx}, a_{sy}, a_{sz}) = (x_{B_s} - x_{A_s}, y_{B_s} - y_{A_s}, z_{B_s} - z_{A_s}), \\ \mathbf{b}_s &= (b_{sx}, b_{sy}, b_{sz}) = (x_{C_s} - x_{B_s}, y_{C_s} - y_{B_s}, z_{C_s} - z_{B_s}), \\ \mathbf{c}_s &= (c_{sx}, c_{sy}, c_{sz}) = (x_{A_s} - x_{C_s}, y_{A_s} - y_{C_s}, z_{A_s} - z_{C_s}), \end{aligned}$$

де $s \in \{i, j\}$, використовується параметрична форма дефініції трикутників $A_s B_s C_s$

$$\mathbf{r}_s(u, v) = \mathbf{a}_s u v + \mathbf{c}_s v + \mathbf{r}_{C_s}, \quad u \in [0; 1], \quad v \in [0; 1], \quad (19)$$

та їх сторін

$$\mathbf{r}_{skm}(w) = T_{sk} + (T_{sm} - T_{sk})w, \quad k \neq m, \quad w \in [0; 1], \quad (20)$$

де $s \in \{i, j\}$;

u, v, w – параметри;

\mathbf{r}_{C_s} – радіус-вектор вершини C_s ;

$T_s = (T_{sk})_1^3 = (A_s, B_s, C_s)$;

$m \in \{1, 2, 3\}$.

Необхідною умовою перетину у просторі фігур (20) і (19) для різних трикутників $A_s B_s C_s$ є наявність певних розв'язків системи з трьох скалярних лінійних рівнянь (із невідомими uv, v, w), що утворюються прирівнюванням правих частин виразів (20) і (19). З геометричної точки зору останнє відповідає перетину сторін одного з трикутників $A_s B_s C_s$ з іншим, тобто отримані при цьому величини параметрів u, v, w повинні належати проміжку $[0; 1]$.

Переваги описаного способу визначення перетину довільних параметричних поверхонь аналогічні вищенаведеним для ліній. Зазначимо лише те, що викладений підхід дозволяє не тільки поділяти складнішу задачу на кілька більш простих, а й використовувати для останніх уже напрацьовані розв'язки. Такі методи, прийоми та алгоритми сприяють нарощуванню продуктивності розробки САПР, оскільки забезпечують можливість неодноразового застосування створених раніш універсальних програмних модулів.

Достовірність наведених методів й алгоритмів обґрунтовано математичними викладками, обчислювальними експериментами, зіставленням одержаних результатів з уже відомими, що отримані іншими способами. На рис. 13, *а* показано відповідний тестовий приклад розрахунку перетину сферичної та циліндричної поверхонь.

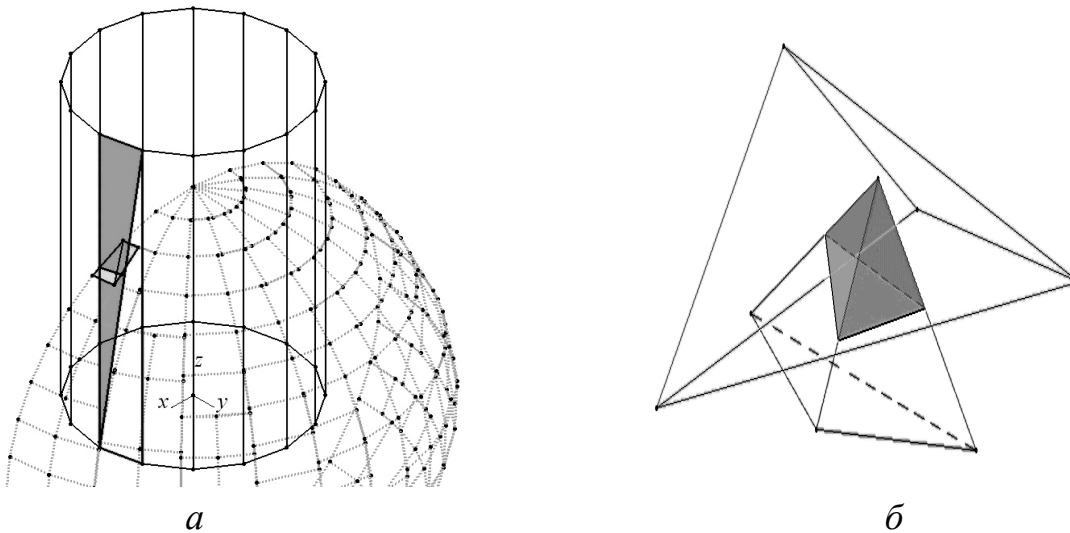


Рис. 13. Ілюстрації до запропонованих методів визначення перетинів поверхонь і тіл на тестових прикладах:

а – сферичної та циліндричної поверхонь; *б* – тетраєдрів

На основі розроблених способів визначення перетинів трикутників та використання останніх у якості складових елементів плоских фігур і граней тетраєдрів подано методи та алгоритми визначення перетину багатокутників, інших плоских фігур, тетраєдрів (рис. 13, *б*), багатогранників і довільних тіл.

При цьому підкреслено здатність структурно-параметричного підходу забезпечувати узагальнення методів, прийомів та алгоритмів щодо розширення області їх дії від опрацювання фігур меншої вимірності – до більшої.

Проаналізовано реалізацію зазначених методів під час розв'язування метричних задач, зокрема, рекурсивного обчислення довжини параметричної кривої.

Для довільних параметричних поверхонь наведено спосіб побудови їх ліній перетину, що більш придатні, ніж розглянуті вище ламані, для застосування в якості елементів складених геометричних фігур, оскільки ці лінії повністю належать вихідним поверхням.

Послідовність запропонованих дій полягає в наступному.

Для двох поверхонь вигляду (18) $\mathbf{r}_1(u_1, v_1)$ та $\mathbf{r}_2(u_2, v_2)$, на базі координат вершин ламаної їх перетину та відповідних апроксимуючих відрізків, формуються множини спільних точок

$$\begin{aligned} P_{1,2} &= (\mathbf{r}_{1,2i})_0^{Nr_{1,2}} = (\mathbf{r}_1(u_{1i}^*, v_{1i}^*))_0^{Nr_{1,2}}, \\ P_{2,1} &= (\mathbf{r}_{2,1i})_0^{Nr_{2,1}} = (\mathbf{r}_2(u_{2i}^*, v_{2i}^*))_0^{Nr_{2,1}}, \end{aligned} \quad (21)$$

де $Nr_{1,2}=Nr_{2,1}=n$.

У виразах (21) варіюванням параметрів досягається збіг, із потрібною точністю, відповідних радіусів-векторів елементів кортежів $P_{1,2}$ та $P_{2,1}$. Тоді вважається

$$P = (P_i)_0^n = (\mathbf{r}_1(u_{1i}, v_{1i}))_0^n = (\mathbf{r}_2(u_{2i}, v_{2i}))_0^n. \quad (22)$$

Далі обчислюються лінії, що лежать на поверхнях $\mathbf{r}_1(u_1, v_1)$ і $\mathbf{r}_2(u_2, v_2)$ та проходять через точки (22). Зроблено це на прикладі кубічних В-сплайнів

$$u_m(t) = \sum_{i=0}^n N_{i,4}(t)U_{mi}, \quad n \geq 2, \quad (23)$$

де $m \in \{1; 2\}$,

$(t_0=0, t_1=1, t_2=2, \dots)$ – вузловий вектор параметра t ,

U_{mi} – деякі сталі,

$$N_{0,4}(t) = \begin{cases} t^3/6, & t \in [0; 1]; \\ -t^3/2 + 2t^2 - 2t + 2/3, & t \in [1; 2]; \\ t^3/2 - 4t^2 + 10t - 22/3, & t \in [2; 3]; \\ (4-t)^3/6, & t \in [3; 4]; \\ 0, & t \notin [0; 4], \end{cases} \quad N_{i,4}(t) = N_{0,4}(t-i). \quad (24)$$

Аналіз формул (24) показує, що $N_{0,4}(t)$ на початку й у кінці свого проміжку дорівнює нулю, при $t=2$ досягає максимуму $2/3$, а інші функції $N_{i,4}(t)$ можна отримати перенесенням розглянутої уздовж осі параметра на i одиниць.

Розраховуються невідомі $(U_{1i})_0^n$ та $(U_{2i})_0^n$, які забезпечують проходження двох сплайнів вигляду (23) відповідно через $(u_{1i})_0^n$ та $(u_{2i})_0^n$ при $t=2, 3, \dots, n+2$, за допомогою розв'язування систем лінійних рівнянь

$$\begin{cases} 4U_{m0} + U_{m1} & = 6u_{m0}, \\ U_{m0} + 4U_{m1} + U_{m2} & = 6u_{m1}, \\ U_{m1} + 4U_{m2} + U_{m3} & = 6u_{m2}, \\ \dots & \\ U_{m_{n-1}} + 4U_{mn} & = 6u_{mn}. \end{cases} \quad (25)$$

де $m \in \{1; 2\}$.

За аналогією з формулами (23) ... (25) обчислюються величини $(V_{mi})_0^n$ сплайнів

$$v_m(t) = \sum_{i=0}^n N_{i,4}(t)V_{mi}, \quad (26)$$

що для $m \in \{1; 2\}$ проходять відповідно через $(v_{1i})_0^n$ та $(v_{2i})_0^n$.

Сумісне застосування одержаних згідно з виразами (23) і (26) залежностей для $u_m(t)$ та $v_m(t)$ дозволяє визначити параметричні лінії $P_{1,2}(t)$ та $P_{2,1}(t)$, які відтворюють перетин $\mathbf{r}_1(u_1, v_1)$ і $\mathbf{r}_2(u_2, v_2)$ та належать вихідним поверхням.

Запропоновано кілька прийомів структурного синтезу різноманітних скінченних фігур. Базовими примітивами в даному разі є точки (*вершини*), лінії (*ребра*), поверхні (*грані*) та тіла, з яких у подальшому формуються більш складні компоненти, наприклад, машинобудівні деталі, вузли і т. д. При цьому ребра поєднуються у спільних вершинах, грані – ребрах, а тіла – гранях.

Основу опису зазначених фігур складають кортежі:

- параметричних поверхонь вигляду (18)

$$S = (s_k)_1^{N_S}, \quad (27)$$

де $s_k = \mathbf{r}_k(u_k, v_k)$;

- контурів (циклів)

$$C = (C_k)_1^{N_C}, \quad (28)$$

де $C_k = (C_{ki})_1^{N_{Ck}}$ – контури, що належать поверхні s_k ;

- ребер

$$C_{ki} = (C_{kij})_1^{N_{Cki}}, \quad (29)$$

де $C_{kij} = \mathbf{r}_k(u_k(u_{kij}), v_k(u_{kij}))$.

На базі виразів (27) ... (29) формуються грані

$$G = (g_n)_1^{N_G},$$

замкненими оболонками з яких відтворюються тіла.

На засадах викладеного вище методу апроксимації поверхонь запропоновано спосіб розв'язування математичних задач глобальної оптимізації (рис. 14, а), який забезпечує:

- формування потрібної упорядкованої множини раціональних значень цільової функції, із глобальним екстремумом включно, та відповідних її аргументів;
- незалежність отримуваних розв'язків від початкової точки розрахунків;
- реалізацію стійкості одержаних оптимальних значень цільової функції при незначних відхиленнях величин її аргументів;
- відсутність потреби обчислення похідних та здатність працювати з різноманітними цільовими функціями й обмеженнями.

Розроблені прийоми оптимізації на певних тестових задачах показали кращі результати ніж відомі комп'ютерні математичні пакети, що для довільного випадку гарантують знаходження лише локальних екстремумів.

На основі структурно-параметричного підходу запропоновано спосіб візуалізації багатовимірних об'єктів, які подаються певними множинами своїх складових нижчої вимірності, що керуються ієрархічними деревовидними структурами.

Один із фрагментів застосування такого підходу зображено на рис. 14, б, де в якості опорних елементів для п'ятивимірного об'єкта використано сукупності поверхонь тривимірного простору.

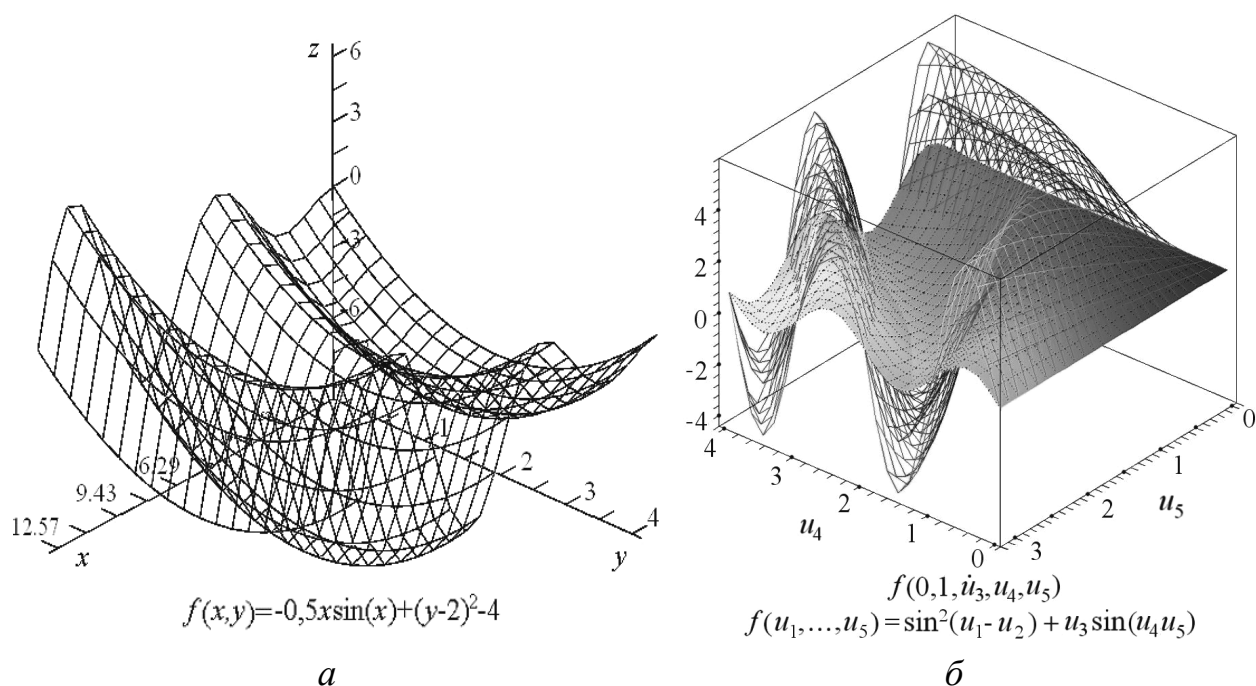


Рис. 14. Тестові приклади розв'язування задач структурно-параметричними геометричними засобами:

a – оптимізації; *б* – візуалізації багатовимірних об'єктів

Результати досліджень четвертого розділу дисертації дозволили сформулювати засади цілісної системи методів, способів, прийомів й алгоритмів, що базуються на запропонованій концепції структурно-параметричного геометричного моделювання та певним чином поглиблюють і доповнюють її. Практична значущість викладеного матеріалу полягає в можливості його використання для удосконалення програмних засобів сучасних машинобудівних САПР і математичних пакетів, а також підвищення на основі цього ефективності процесів комп'ютерного опрацювання технічної продукції.

У **п'ятому розділі** викладено методики структурно-параметричного геометричного моделювання, де за основний об'єкт упровадження результатів виконаних теоретичних прикладних досліджень обрано сучасний літак, як один з узагальнюючих представників складної продукції машинобудування. Мається на увазі його доволі широка номенклатура деталей і складаних одиниць, застосовуваних матеріалів і ТП, різноманітних комплектувальних виробів багатьох підприємств тощо.

На рис. 15 наведено комп'ютерні моделі базової геометрії літака на різних стадіях проектування. Уявлення про агрегати й відсіки дає рис. 16. Другий ієрархічний рівень планера складається з фюзеляжу, крила, оперення, двигунів і шасі. На наступному щаблі відсіків кожен із наведених вище агрегатів, див. рис. 15 і рис. 16, поділяється на дрібніші підсистеми, а саме: фюзеляж – на носову (Ф1), середню (Ф2) і хвостову (Ф3) частини; крило – на центроплан та консоль; оперення – на вертикальне й горизонтальне; двигуни – на пілони та гондоли; шасі – на носове й основне.

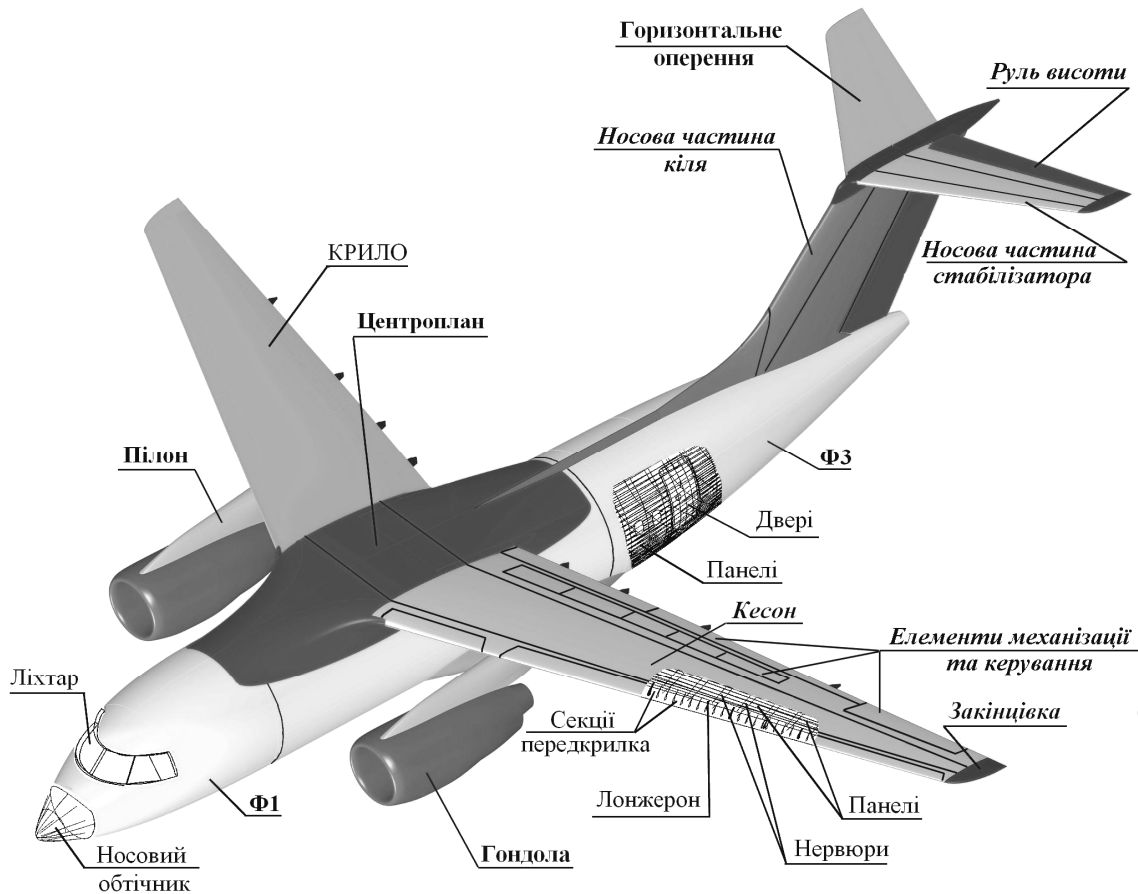


Рис. 15. Приклади моделей базової геометрії літака різних стадій його проектування

Ієрархічні рівні

1. Виріб

2. Агрегати

3. Відсіки



Рис. 16. Ієрархічний склад літака

Про подальший характер декомпозиції досліджуваного виробу свідчать подані на рис. 15 менші елементи, такі як носовий обтічник, ліхтар, секції передкрилка, лонжерони, нервюри, панелі, руль висоти і т. д.

У дисертаційному дослідженні головну увагу зосереджено на геометричних аспектах розглянутої системи об'єктів. Останні, в основному, являють собою зовнішні аеродинамічні поверхні. Лінії на них є конструкторсько-технологічними базами для силового набору, дверей, люків тощо.

Наведені геометричні моделі застосовуються не тільки для проведення автоматизованих інженерних розрахунків на стадії проектування, а й під час усього життєвого циклу літака, зокрема, для контролю точності його виготовлення та аналізу експлуатаційних деформацій.

На рис. 17 та рис. 18 більш докладно зображено відповідно структуру поверхонь носової, середньої і хвостової частин фюзеляжу та базові елементи їх конструктивно-силового набору (шпангоутів, стрингерів, балок і т. д.).

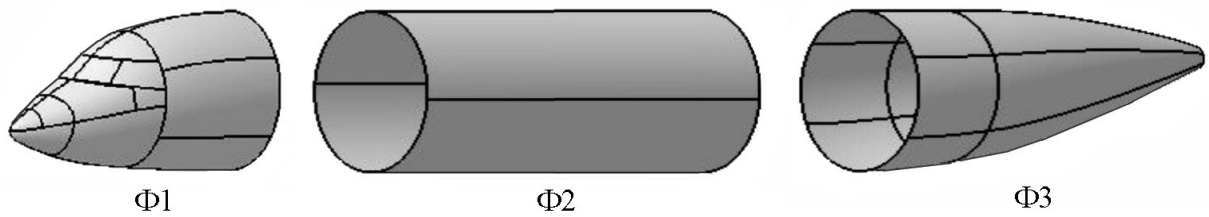


Рис. 17. Моделі теоретичних поверхонь частин фюзеляжу

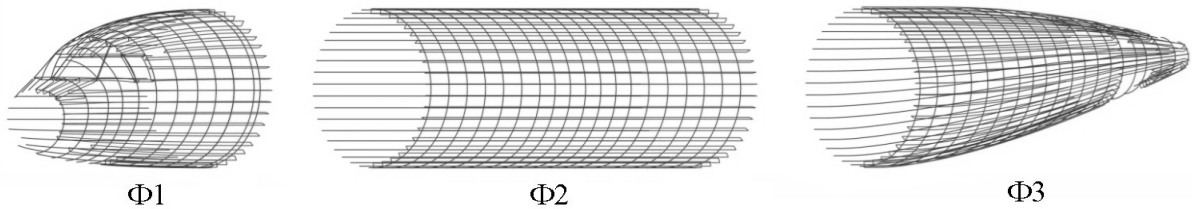


Рис. 18. Базові елементи конструктивно-силового набору

Розглянуті геометричні дані слугують безпосередньою основою для процесів конструювання й виробництва цього агрегату.

Подано автоматизоване структурно-параметричне твердотільне геометричне моделювання деталей і складаних одиниць на прикладі елементів конструкції крила (рис. 19 та рис. 20).

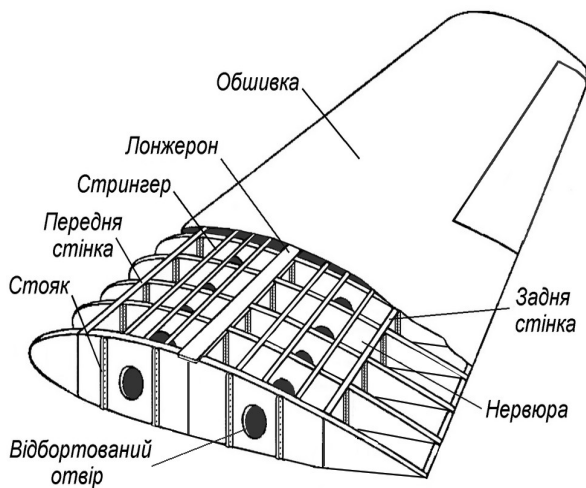


Рис. 19. Типова конструкція крила літака

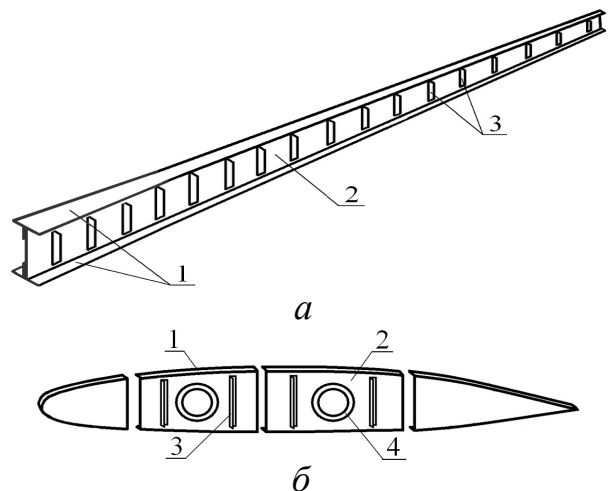


Рис. 20. Елементи конструкції крила:

а – лонжерон; *б* – нервюра

1 - пояс; 2 - стінка; 3 - стояк; 4 - відбортований отвір

Запропоновані методики спрямовані на підвищення ефективності групових технологій у машинобудуванні шляхом упровадження прийомів варіантного формоутворення.

Виконано конструкторсько-технологічні класифікації стояків та відбортованих отворів, розроблено на базі них відповідні комп'ютерні твердотільні параметричні моделі та опрацьовано, з використанням останніх, СПГМ лонжерона (рис. 21).

Обґрунтовано можливість застосування структурно-параметричного формоутворення під час проектування ТП виготовлення продукції машинобудування.

Заготівельні процеси проаналізовано на прикладі раціонального гільйотинного розкрою. Оскільки при цьому прийоми геометричного моделювання є інваріантними до об'єкта виробництва, то їх упровадження продемонстровано на картах розкрою листового матеріалу тролейбуса К.12.01 (рис. 22).

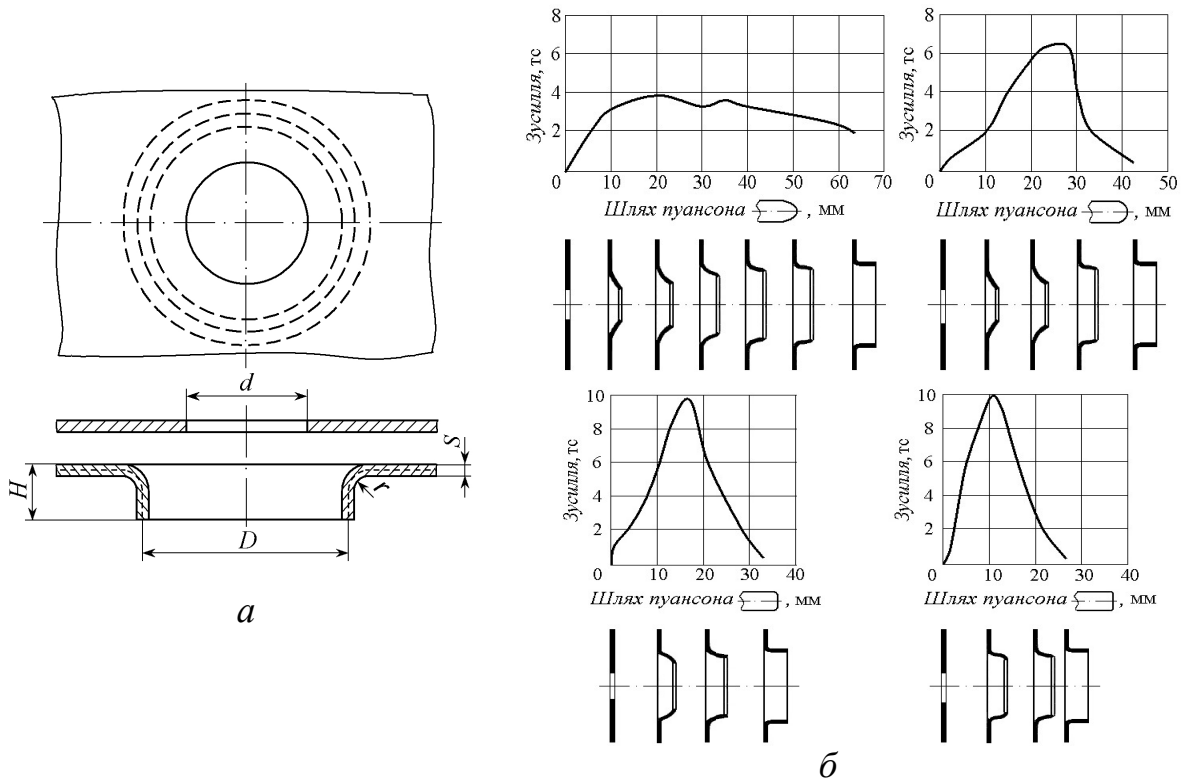


Рис. 23. Відбортовування отвору:

a – схема процесу; *б* – утворення отвору різним за формою пуансоном (криволінійним, сферичним, циліндричним із великим та малим закругленням)

Розроблена КГМ здатна динамічно відображувати не тільки наведені на рис. 23, *б* співвідношення, а й відтворювати інші варіанти розглянутої технології. Цим забезпечується можливість скорочення витрат на відповідні дослідження та терміни їх виконання.

Подано методику інтегрованого комп'ютерного конструкторсько-технологічного проектування групи деталей, що визначаються показаною на рис. 24 КГМ, у якій $t=(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_8)$ – це множина технологічних операцій, де $\tau_0=\{\text{Заготівельна}\}$, $\tau_1=\{\text{Підрізання}\}$, $\tau_2=\{\text{Обточування}\}$, $\tau_3=\{\text{Обточування}\}$, $\tau_4=\{\text{Свердління}\}$, $\tau_5=\{\text{Свердління}\}$, $\tau_6=\{\text{Розточування}\}$, $\tau_7=\{\text{Відрізка}\}$, $\tau_8=\{\text{Контрольна}\}$.

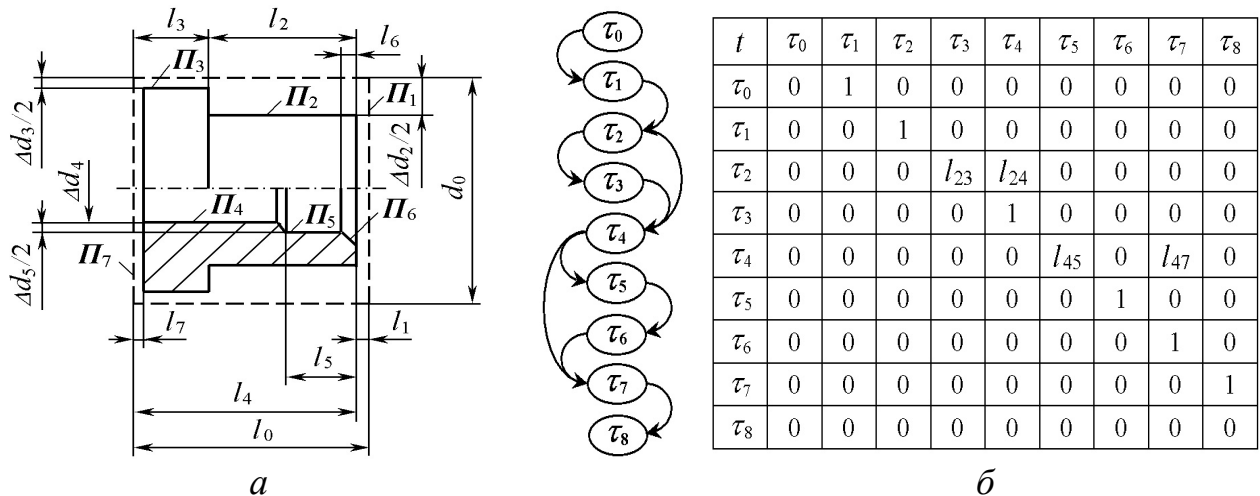


Рис. 24. Структурно-параметрична конструкторсько-технологічна модель групи деталей: *a* – параметрична комплексна деталь; *б* – модель групової технології (граф структури й параметрів, матриця суміжності елементів)

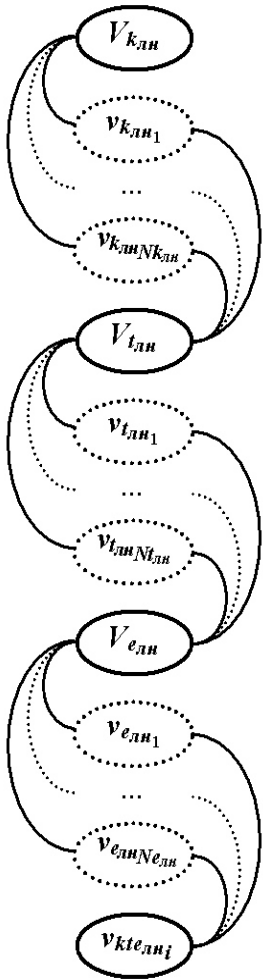


Рис. 25. Інтегрована модель лонжерона

На прикладі складанної одиниці лонжерона крила літака проілюстровано поєднання конструкторського, технологічного та експлуатаційного моделювання виробів машинобудування (рис. 25), де під час опрацювання досліджуваного об'єкта для зазначених трьох етапів проаналізовано наступні його проектні різновиди

$$V_{к_лн} = (v_{к_лнi})_1^{N_{к_лн}}, \quad V_{т_лн} = (v_{т_лнi})_1^{N_{т_лн}}, \quad V_{е_лн} = (v_{е_лнi})_1^{N_{е_лн}},$$

де $V_{к_лн}$, $V_{т_лн}$, $V_{е_лн}$ – відповідно кортежі конструкторських, технологічних та експлуатаційних варіантів.

Застосування інтегрованої структурно-параметричної моделі дозволяє одержати множину конструкторсько-технологічно-експлуатаційних проектних різновидів лонжерона

$$V_{kte_лн} = (v_{kte_лнi})_1^{N_{kte_лн}},$$

котра, у свою чергу, здатна бути елементом системи вищого рівня, наприклад, див. рис. 19, крила літака.

Показано, що запропоновані прийоми структурно-параметричного моделювання доцільно використовувати для конструювання різноманітних деталей і складаних одиниць, проектування процесів їх виготовлення та експлуатації, виконання зазначених робіт для більш складних технічних об'єктів.

Науково-практична значущість поданих у п'ятому розділі дисертації матеріалів полягає в узагальненні, систематизації та розвитку методології комп'ютерного структурно-параметричного геометричного моделювання складної технічної продукції, розробці нових методик варіантного формоутворення, здійсненні їх програмної реалізації та впровадженні у практику.

Шостий розділ присвячено перспективам удосконалення викладених методів, способів, прийомів й алгоритмів та їх використанню у відмінних від машинобудування сферах життєдіяльності людини.

Автором апробовано застосування запропонованої концепції комп'ютерного структурно-параметричного геометричного моделювання та відповідних методів, прийомів й алгоритмів під час проектування та виготовлення літаків, тролейбусів, технологічного оснащення, корпусів суден, навігаційних приладів, математичної обробки даних рельєфу морського дна, створення нормативної та технічної документації, що засвідчують наведені в додатках матеріали про впровадження результатів дисертаційних досліджень. Запропонована методологія має перспективи свого використання у верстатобудуванні, хімічній і металургійній промисловості, будівництві та архітектурі і т. д.

Можливість поширення розглянутого підходу до автоматизованого варіантного формоутворення в інших галузях машинобудування і промисловості підтверджують, зокрема, публікації автора за даною тематикою у фахових наукових

журналах та збірниках із машинознавства, приладобудування, комп'ютерних інформаційних технологій, технічної естетики й дизайну, науково-технічному збірнику з інформаційних систем, механіки та керування, науково-технічному журналі нафтової та газової промисловості, участь у науково-технічних конференціях із теорії та практики раціонального проектування, виготовлення й експлуатації машинобудівних конструкцій, гіротехнологій, навігації, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки. Показано, що викладені в дисертаційному дослідженні методи, способи, прийоми та алгоритми структурно-параметричного комп'ютерного геометричного моделювання доречно застосовувати у всіх сферах життєдіяльності людини, де пошук оптимальних розв'язків пов'язаний із багатофакторним аналізом і синтезом складних систем.

У **загальних висновках**, що завершують основну частину дисертації, визначено головні наукові результати, які отримані здобувачем.

У **додатках** подано приклади програмної реалізації розроблених методів, прийомів та алгоритмів, створених комп'ютерних геометричних моделей об'єктів машинобудування, а також документи про впровадження у практику результатів дисертаційних досліджень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації, на єдиній методологічній основі варіантного формоутворення, розв'язано наукову проблему розробки та використання комп'ютерних структурно-параметричних геометричних моделей технічних об'єктів у машинобудуванні, що забезпечує підвищення ефективності автоматизованого опрацювання складної продукції в середовищі сучасних інтегрованих інформаційних систем.

Виконаними дослідженнями досягнуто головну мету – узагальнено й систематизовано теоретичні основи структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання та удосконалено на базі цього комп'ютерне формоутворення складних виробів.

У дисертації отримано наступні результати, що мають наукову і практичну цінність:

1. Окреслено типові задачі структурно-параметричного формоутворення технічної продукції, до яких відносяться питання: декомпозиції та синтезу геометричних об'єктів; структурної та параметричної варіантності їх компонентів; комплексної оптимізації та інтеграції з математичними описами інших дисциплін; побудови геометричних моделей, які забезпечують узагальнені розв'язки, що більш пристосовані для реалізації типових і групових технологій машинобудування та ін.

2. Запропоновано узагальнені концептуальні засади методології структурно-параметричного геометричного моделювання, які полягають у застосуванні єдиних прийомів моделювання на всіх рівнях ієрархії геометричних об'єктів (точок, ліній, поверхонь, тіл, різноманітних їх комбінацій, багатовимірних фігур), інтеграції теорії формоутворення кривих, поверхонь і тіл із положеннями інших розділів фундаментальної математики (теорії множин, графів, комбінаторики, оптимізації тощо) та обчислювальної техніки (інформатики, програмування і т. д.), обґрунтовано базовий характер структурно-параметричного формоутворення для автоматизованого проектування технічних об'єктів.

3. Сформульовано принципи структурно-параметричної методології (системного підходу, варіантності, універсальності, оптимальності, відкритості та розвитку, комплексного підходу), наведено ключові етапи побудови й використання відповідних моделей (аналізу й формування складу елементів опрацьовуваного об'єкта, його структури, визначення порядку синтезу та інтегральних параметрів і характеристик, розробки нових або застосування існуючих математичних моделей для наявних елементів і зв'язків між ними, проведення оптимального геометричного моделювання), подано засади узагальненої класифікації фігур різної вимірності на основі структурно-параметричного підходу.

4. Розроблено нові математичні методи варіантного формоутворення технічних систем у машинобудуванні, що спираються на використання комбінаторно-варіаційних геометричних об'єктів, побудованих на основі теорії кривих і поверхонь та множин і графів. Узагальнено, на базі структурно-параметричної методології, раціональні прийоми розробки геометричних алгоритмів, які полягають в інтегрованому підході до моделювання ліній, поверхонь, тіл і багатовимірних фігур, розв'язанні складних задач формоутворення в кілька взаємопов'язаних етапів із використанням універсальних алгоритмічних компонентів.

5. На засадах структурно-параметричної апроксимації удосконалено теорію оптимізації щодо пошуку глобальних екстремумів та розроблено спосіб візуалізації багатовимірних об'єктів.

6. Визначено основи інтеграції стадій проектування, виробництва й експлуатації технічної продукції на базі автоматизованого варіантного формоутворення із застосуванням структурно-параметричних геометричних моделей. Напрацьовано нові методики структурно-параметричного комп'ютерного твердотілого моделювання деталей і складаних одиниць та процесів їх виготовлення.

7. Виконано програмну реалізацію запропонованих методів, способів, прийомів та алгоритмів, проведено комп'ютерні експерименти щодо їх апробації, впроваджено одержані результати у практику, показано можливість використання поданої методології моделювання в інших, крім машинобудування, сферах життєдіяльності людини (нафтопереробній та хімічній промисловості, економіці, освіті, медицині тощо).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. **Вірченко Г.А.** Геометричне моделювання крила літака на стадії ескізного проектування з використанням кривих Безьє третього порядку / Вірченко Г.А., Ванін І.В. // Праці Тавр. держ. агротех. академії. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. граф. – Т. 31. – Мелітополь: ТДАТА, 2006. – С. 89-95.

Особисто автором запропоновано застосування структурно-параметричного підходу для автоматизованого формоутворення несучих поверхонь літака.

2. **Вірченко Г.А.** Деякі питання розробки обчислювальних алгоритмів структурно-параметричного моделювання складних геометричних об'єктів / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Ванін І.В. // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”. – Вип. 76. – К.: КНУБА, 2006. – С. 17-23.

Особисто автором розроблено алгоритм визначення складу проектних варіантів об'єктів у СПГМ.

3. **Вірченко Г.А.** Структурно-параметричні геометричні моделі як основа для узгодженої розробки літака на стадії ескізного проектування / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Ванін І.В. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». Теоретичні та прикладні проблеми фізико-математичних наук. – №4, 2006. – С. 35-41.

Особисто автором, на прикладі ескізного проектування літака, визначено теоретичні засади узгодженого автоматизованого опрацювання складних виробів машинобудування з використанням комп'ютерних СПГМ.

4. **Вірченко Г.А.** Геометричне моделювання як одна з основних складових сучасних систем автоматизованого проектування / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Вірченко В.Г. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 77. – К.: КНУБА, 2007. – С. 129-134.

Особисто автором здійснено постановку задачі аналізу ролі засобів геометричного моделювання в сучасних машинобудівних САПР та узагальнено отримані результати.

5. **Вірченко Г.А.** Сучасний стан і перспективи геометричного моделювання у вітчизняному літакобудуванні / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Ванін І.В. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2007. – Вип. 17. – С. 54-60.

Особисто автором сформульовано перспективні напрямки розвитку геометричного моделювання у вітчизняному літакобудуванні.

6. **Вірченко Г.А.** Структурно-параметричні геометричні моделі як інваріантна складова комп'ютерних інформаційних технологій підтримки життєвого циклу виробів машинобудування / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Ванін В.В. // Праці Тавр. держ. агротех. академії. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. граф. – Т. 36. – Мелітополь: ТДАТА, 2007. – С. 16-21.

Особисто автором запропоновано використання СПГМ як інваріантних складових комп'ютерних технологій підтримки життєвого циклу продукції машинобудування та основи для оптимального управління виробничими системами.

7. **Вірченко Г.А.** Інтеграція процесів проектування та виробництва об'єктів машинобудування засобами геометричного моделювання / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Ванін В.В. // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник за напрямом «Інженерна механіка». – Випуск №22. Частина 2. – Луцьк: ЛДТУ, 2008. – С. 54-61.

Особисто автором подано ідею інтеграції процесів проектування та виробництва продукції машинобудування засобами комп'ютерного структурно-параметричного геометричного моделювання.

8. **Вірченко Г.А.** Твердотільне параметричне моделювання деталей і складальних одиниць у системі CADDS5 / Вірченко Г.А. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 79. – К.: КНУБА, 2008. – С. 164-170.

9. **Вірченко Г.А.** Раціональний розкрій матеріалів як складова частина технологічних процесів виготовлення деталей / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Вірченко В.Г. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. граф. – Т. 37. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 112-120.

Особисто автором опрацьовано ключові прийоми методики раціонального гільйотинного розкрою, що базується на структурно-параметричному підході до геометричного моделювання та забезпечує комплексну оптимізацію виробничих процесів.

10. **Вірченко Г.А.** Структурно-параметричне геометричне моделювання як засіб підвищення ефективності групових технологій у машинобудуванні / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Ванін В.В. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. граф. – Т. 39. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 9-17.

Особисто автором розроблено базові теоретичні положення щодо інтеграції комп'ютерного твердотілого формоутворення деталей і складаних одиниць машинобудування та процесів їх виготовлення на засадах групових технологій і структурно-параметричного підходу.

11. **Вірченко Г.А.** Структурно-параметричне геометричне моделювання як елемент ресурсозберігаючих технологій у життєвому циклі складної продукції машинобудування / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Вірченко В.Г. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 21. – Харків: ХДУХТ, 2008. – С. 11-15.

Особисто автором сформульовано постановку задачі розширення сфери застосування структурно-параметричної методології комп'ютерного геометричного моделювання для реалізації ресурсозберігаючих технологій на протязі всього життєвого циклу складної продукції машинобудування.

12. **Вірченко Г.А.** Інтегроване варіантне комп'ютерне конструкторсько-технологічне проектування авіаційної техніки / Вірченко Г.А. // Механіка гіроскопічних систем. – Вип. 19. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – С. 125-132.

13. **Вірченко Г.А.** Розрахунок перетинів довільних параметричних поверхонь / Вірченко Г.А. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. граф. – Т. 41. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 119-125.

14. **Вірченко Г.А.** Геометричні моделі як основа комп'ютерного опису об'єктів автоматизованого конструювання / Вірченко Г.А. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 22. – Харків: ХДУХТ, 2009. – С. 70-73.

15. **Вірченко Г.А.** Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання / Вірченко Г.А., Ванін В.В. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 23. – Харків: ХДУХТ, 2009. – С. 42-48.

Особисто автором визначено базові загальні теоретичні положення структурно-параметричного геометричного моделювання.

16. **Вірченко Г.А.** Обчислювальний алгоритм розрахунку перетинів довільних багатокутників / Вірченко Г.А. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 24. – Харків: ХДУХТ, 2009. – С. 21-24.

17. **Вірченко Г.А.** Відтворення визначників кінематичних поверхонь засобами структурно-параметричних геометричних моделей / Вірченко Г.А. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 25. – Харків: ХДУХТ, 2009. – С. 9-13.

18. **Вірченко Г.А.** Геометричне моделювання – одна з основ автоматизованого проектування об'єктів і процесів машинобудування / Вірченко Г.А., Ванін В.В. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. граф. – Т. 43. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – С. 3-10.

Особисто автором запропоновано напрямки подальших наукових досліджень для підвищення ефективності автоматизованого проектування в машинобудуванні на основі використання засобів структурно-параметричного комп'ютерного геометричного моделювання.

19. **Вірченко Г.А.** Обчислювальний алгоритм розрахунку перетину багатогранників / Вірченко Г.А. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. граф. – Т. 44. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – С. 112-115.

20. **Вірченко Г.А.** До питання обчислення перетинів довільних просторових параметричних кривих / Вірченко Г.А. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 81. – К.: КНУБА, 2009. – С. 102-106.

21. **Вірченко Г.А.** Разработка компьютерных моделей базовой геометрии самолета с использованием современных информационных технологий / Вірченко Г.А., Ванін І.В., Ткачевський Я.І. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. Вып. 42. – Харьков: Нац. аерокосм. ун-т «ХАИ», 2009. – С. 82-86.

Особисто автором сформульовано перспективні напрямки комп'ютерного геометричного моделювання для підвищення ефективності процесів автоматизованого опрацювання складних технічних об'єктів у літакобудуванні.

22. **Вірченко Г.А.** Структурно-параметричний підхід як засіб удосконалення геометричних алгоритмів / Вірченко Г.А. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 26. – Харків: ХДУХТ, 2010. – С. 81-84.

23. **Вірченко Г.А.** Структурно-параметричний підхід як загальна методологія комп'ютерного геометричного моделювання об'єктів машинобудування / Вірченко Г.А. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 83. – К.: КНУБА, 2010. – С. 146-152.

24. **Вірченко Г.А.** Продукція машинобудування та процеси її виготовлення як об'єкти структурно-параметричного геометричного моделювання / Вірченко Г.А., Ванін В.В. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 84. – К.: КНУБА, 2010. – С. 28-32.

Особисто автором розроблено методику побудови динамічних структурно-параметричних комп'ютерних твердотільних геометричних моделей для варіантного відтворення виробничих процесів холодного листового штампування.

25. **Вірченко Г.А.** Структурно-параметричний підхід як методологія узагальнення каркасного, поверхневого та об'ємного геометричного моделювання / Вірченко Г.А., Ванін В.В. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. граф. – Т. 46. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – С. 42-46.

Особисто автором виконано аналіз структурно-параметричного підходу як методології інтеграції каркасного, поверхневого й об'ємного геометричного моделювання.

26. **Вірченко Г.А.** Структурно-параметричні методи апроксимації як засоби вирішення задач оптимізації / Вірченко Г.А. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. граф. – Т. 47. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – С. 61-66.

27. **Вірченко Г.А.** Деякі прийоми та алгоритми структурно-параметричного синтезу геометричних об'єктів / Вірченко Г.А. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. граф. – Т. 48. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – С. 63-68.

28. **Вірченко Г.А.** Використання структурно-параметричного підходу для комп'ютерної візуалізації багатовимірних геометричних об'єктів / Вірченко Г.А. // Технічна естетика і дизайн. – Вип. 7. – К.: Віпол, 2010. – С. 68-73.

29. **Вірченко Г.А.** Комбіновані геометричні об'єкти на основі кривих і поверхонь / Вірченко Г.А. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 86. – К.: КНУБА, 2010. – С. 226-231.

30. **Вірченко Г.А.** Комп'ютерне структурно-параметричне геометричне моделювання як основа для комплексної оптимізації процесів проектування та виробництва об'єктів машинобудування / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Грязнова Г.П. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Технологии машиностроения. – 5/1 (47). – Харьков: ТЦ, 2010. – С. 54-57.

Особисто автором, шляхом аналізу сучасних тенденцій розвитку машинобудування та інженерної графіки, запропоновано основні напрямки використання структурно-параметричного комп'ютерного геометричного моделювання для здійснення комплексної оптимізації технічної продукції.

31. **Вірченко Г.А.** Формування ліній перетину поверхонь як складових елементів комбінованих геометричних об'єктів / Вірченко Г.А. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 27. – Харків: ХДУХТ, 2010. – С. 28-31.

32. **Вірченко Г.** Використання геометричних методів апроксимації для розв'язування задач параметричної оптимізації в машинобудуванні / Вірченко Г. // Машинознавство. – 2010. – №6 (156). – С. 26 -30.

33. **Вірченко Г.** Застосування комп'ютерних структурно-параметричних геометричних моделей для раціонального проектування технологічних процесів у машинобудуванні / Вірченко Г. // Машинознавство. – 2010. – №7 (157). – С. 34 -37.

34. **Вірченко Г.А.** Рекурсивний метод обчислення довжини довільної параметричної кривої / Вірченко Г.А. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 4, т. 49. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С. 84-88.

35. **Вірченко Г.А.** Застосування структурно-параметричного підходу як методології комп'ютерної комбінаторно-варіаційної геометрії / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Вірченко В.Г. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 87. – К.: КНУБА, 2011. – С. 12-17.

Особисто автором подано ідею застосування структурно-параметричного підходу як методології комп'ютерної комбінаторно-варіаційної геометрії.

Додаткові публікації

36. **Вірченко Г.А.** Геометричне моделювання літака в умовах сучасних інтегрованих комп'ютерних технологій / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Ванін І.В., Ткачевський Я.І. // Современные проблемы геометрического моделирования: Сборник трудов Украина-российской научно-практической конференции. – Харьков: 2005. – С. 58-64.

37. **Вірченко Г.А.** Комп'ютерні моделі базової геометрії – одна з основ автоматизованого конструювання сучасного літака / Вірченко Г.А. // VI міжнародна науково-технічна конференція “Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки”: Збірка доповідей. Частина II. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – С. 231-235.

38. **Вірченко Г.А.** Комп'ютерне моделювання типових елементів складальних пристроїв. Метод. вказівки до вивчення дисципліни «Новітні технології виробництва літальних апаратів» для студентів спеціальності 8.100101 «Літаки та вертольоти» / Вірченко Г.А. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 24 с.

39. **Вірченко Г.А.** Проектування елементів літальних апаратів у системах CAD/CAM/CAE. Комп'ютерне моделювання елементів конструкції крила літака. Метод. вказівки до вивчення дисципліни для студентів спеціальності 7.100101 «Літаки та вертольоти» / Вірченко Г.А., Борисов В.В. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 32 с.

40. **Вірченко Г.А.** Структурно-параметричне твердотільне геометричне моделювання стояків планера літака / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Вірченко В.Г. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 4. Прикл. геом. та інж. граф. – Т. 37. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 83-91.

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

42. **Вірченко Г.А.** Проектирование элементов летательных аппаратов в системах CAD/CAM/CAE. Моделирование типовых элементов конструкции крыла самолета. Метод. указания к изучению дисциплины для студентов специальности 7.100101 «Самолеты и вертолеты» / Вірченко Г.А., Борисов В.В., Кузякин Ю.П. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 32 с.

43. **Вірченко Г.А.** Деякі перспективи розвитку дисципліни «Інженерна графіка» в аспекті комп'ютерних інформаційних технологій та впровадження Болонського процесу / Вірченко Г.А. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 5. Інформаційні технології в прикладній геометрії. – Т. 3. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – С. 77-80.

44. **Вірченко Г.А.** Деякі проблемні питання проектування сучасного літака / Вірченко Г.А. // VII міжнародна науково-технічна конференція “Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки”: Збірка доповідей. Частина II. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – С. 85-88.

45. **Вірченко Г.А.** Деякі проблемні питання структурно-параметричного формоутворення в сучасних системах геометричного моделювання / Вірченко Г.А. // Збірник праць XI Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні проблеми геометричного моделювання”. – Мелітополь, 2009. – С. 70-74.

46. **Вірченко Г.А.** Місце та роль комп’ютерного геометричного моделювання в сучасному машинобудуванні / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Вірченко В.Г. // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2010». Том 4. Технические науки. – Одесса: Черноморье, 2010. – С. 67-69.

47. **Вірченко Г.А.** Деякі аспекти викладання дисципліни «Комп’ютерне геометричне моделювання» у вищих навчальних закладах / Вірченко Г.А. // Збірник праць XII Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні проблеми геометричного моделювання”. – Мелітополь, 2010. – С. 37-41.

48. **Вірченко Г.А.** Комп’ютерне геометричне моделювання як один із перспективних напрямків інновацій у науці, освіті та виробництві / Вірченко Г.А. // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2010». Том 4. Технические науки. – Одесса: Черноморье, 2010. – С. 67-68.

49. **Вірченко Г.А.** Застосування комплексних комп’ютерних структурно-параметричних інформаційних моделей у медицині / Вірченко Г.А., Ванін В.В. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 86. – К.: КНУБА, 2010. – С. 49-54.

50. **Вірченко Г.А.** Інтегровані структурно-параметричні геометричні моделі виробів машинобудування / Вірченко Г.А., Вірченко В.Г. // Геометричне та комп’ютерне моделювання. – Вип. 27. – Харків: ХДУХТ, 2010. – С. 87-92.

51. **Вірченко Г.А.** Роль комп’ютерної графіки в підготовці студентів машинобудівних спеціальностей вищих технічних навчальних закладів / Вірченко Г.А., Грязнова Г.П. // Праці Тавр. держ. агротех. університету. – Вип. 5. Інформаційні технології в прикладній геометрії. – Т. 4. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – С. 60-64.

52. **Вірченко Г.А.** Актуальність підвищення ролі комп’ютерної інженерної графіки в навчанні студентів технічних університетів в аспекті впровадження Болонського процесу / Вірченко Г.А., Ванін В.В., Грязнова Г.П. // Зб. тез доповідей IX всеукр. наук.-метод. конф. «Болонський процес: стан та перспективи розвитку вищої освіти в Україні». – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – С. 225-226.

53. **Вірченко Г.А.** Комп'ютерне структурно-параметричне геометричне моделювання об'єктів машинобудування / Вірченко Г.А. // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2010». Том 4. Технические науки. – Одесса: Черноморье, 2010. – С. 66-67.

54. **Вірченко Г.А.** Деякі питання використання геометричних засобів для підвищення ефективності розв'язування задач оптимізації в машинобудуванні / Вірченко Г.А. // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: Праці 2-ї міжн. наук.-техн. конференції. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2010. – С. 99-100.

55. **Вірченко Г.А.** Теоретичні основи геометричного моделювання в машинобудівних САПР із прикладами в КОМПАС-3D: навч. посіб. / Вірченко Г.А., Ванін В.В. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 140 с.

56. **Вірченко Г.А.** Использование структурно-параметрического моделирования при проектировании нефтеперерабатывающего оборудования / Virchenko G.A., Gryaznova G.P. // Наука в нефтяной и газовой промышленности. Научно-технический журнал. – № 4/2010. – Тюмень, 2010. – С. 11-14.

57. **Virchenko G.A.** Perspectives of using of structural parametrical methodology for modelling in modern computer aided design systems / Virchenko G.A., Gryaznova G.P. // Материали за 6-а международна научна практична конференция «Образование и наука». Том 18. Съвременни технологии на инфомации. – София: «Бял ГРАД БГ» ООД, 2010. – С. 26-27.

58. **Virchenko G.A.** Place and role of computer geometrical modelling in modern science, education and industry / Virchenko G.A., Vanin V.V., Gryaznova G.P. // Nauka i Studia – NR 7 (31) 2010. – Przemysl: Nauka i studia, 2010. – P. 81-83.

59. **Virchenko G.A.** Modern computer geometrical modelling as a means of efficiency increasing of technical research activities / Virchenko G.A. // Материали за 7-а международна научна практична конференция «Бъдещите изследвания». Том 14. Съвременни технологии на инфомации. – София: «Бял ГРАД БГ» ООД, 2011. – С. 3-5.

60. **Virchenko G.A.** Progressive trends of modern engineering computer graphics development / Virchenko G.A. // Materialy VII mezinarodni vedecko-prakticka konference «Moderni vymozenosti vedi». – Dil 16. Moderni informacni technologie. – Praha. Publishing House «Education and Science», 2011. – P. 32-34.

61. СТП 651.02.077-09 «Модели мастер-геометрии самолета. Основные положения. Термины и определения» (Авіаційний науково-технічний комплекс «Антонов», **Вірченко Г.А.** – відповідальний виконавець).

АНОТАЦІЯ

Вірченко Г.А. Узагальнення структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання об'єктів машинобудування. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.01 – прикладна геометрія, інженерна графіка. – Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2011.

Дисертацію присвячено розв'язанню наукової проблеми розробки та використання комп'ютерних структурно-параметричних геометричних моделей об'єктів машинобудування.

Виконаними дослідженнями запропоновано узагальнену концепцію комп'ютерного структурно-параметричного геометричного моделювання різноманітних фігур (точок, ліній, поверхонь, тіл, їх комбінацій, багатовимірних об'єктів), обґрунтовано її базовий характер для автоматизованого проектування технічної продукції.

Розроблено нові методи, прийоми та алгоритми варіантного формоутворення складних систем, напрацьовано методики структурно-параметричного комп'ютерного твердотілого моделювання деталей і складаних одиниць, технологічних процесів їх виготовлення та експлуатації.

Одержані результати впроваджено у практику під час проектування та виготовлення літаків, тролейбусів, суден, навігаційних приладів, створення технічних нормативних документів і т. д., показано можливість використання запропонованої методології в інших, крім машинобудування, сферах життєдіяльності людини.

Ключові слова: автоматизоване проектування, геометричне моделювання, комп'ютерні інформаційні технології, машинобудування, структурно-параметричний підхід, оптимізація.

АННОТАЦИЯ

Вирченко Г.А. Обобщение структурно-параметрического подхода к геометрическому моделированию объектов машиностроения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.01.01 – прикладная геометрия, инженерная графика. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры. – Киев, 2011.

Диссертация посвящена решению научной проблемы разработки и использования компьютерных структурно-параметрических геометрических моделей объектов машиностроения.

Для достижения поставленной цели применялись методы аналитической, начертательной, дифференциальной, комбинаторной, многомерной и вычислительной геометрии, топологии, теории множеств и графов, алгоритмов, методов автоматизированного проектирования, системного анализа, математического программирования и оптимального управления, теории конструирования и технологии машиностроения, средств компьютерной графики и т. д.

Выполненный в работе анализ современных методов геометрического моделирования и автоматизированного проектирования в области машиностроения показал:

- актуальность вопросов создания высокопроизводительной, экономичной, надежной, эргономичной, экологически безопасной техники;
- широкие возможности прикладной геометрии и инженерной графики для улучшения качества промышленной продукции на основе применения новейших вычислительных средств и использования передовой научной методологии;
- целесообразность построения геометрических моделей, обеспечивающих не только конкретные, но и обобщенные решения, которые более приспособлены к эффективной реализации типовых и групповых технологий;
- потребность дефиниции и систематизации основных задач структурно-параметрического формообразования объектов машиностроения и определения для них рациональных решений;
- возможность использования компьютерных геометрических моделей как средств интеграции описаний других дисциплин для автоматизированной проработки технических изделий.

Научную новизну полученных результатов составляют:

- создание основ обобщенной концепции сквозного структурно-параметрического компьютерного геометрического моделирования на всех уровнях иерархии исследуемых объектов (точки, линии, поверхности, тела, разнообразные их комбинации, многомерные фигуры) и обоснование ее базового характера для автоматизированного проектирования;
- приемы интеграции теории формообразования кривых, поверхностей, тел, многомерных фигур с другими положениями фундаментальной математики (теории множеств, графов, комбинаторики, оптимизации и т. д.), средствами вычислительной техники (информатикой, программированием) и прочими дисциплинами;
- принципы структурно-параметрической методологии, ключевые этапы разработки и использования соответствующих моделей;
- геометрические методы, обеспечивающие не только конкретные, но и обобщенные решения;
- классификация геометрических фигур на основе применения структурно-параметрического подхода;
- создание новых математических методов вариантного формообразования технических систем в машиностроении;
- предложения относительно использования структурно-параметрических геометрических приемов для поиска глобальных экстремумов в задачах оптимизации;
- способ визуализации многомерных объектов на основе применения структурно-параметрического подхода.

Практическая ценность данных исследований состоит в:

- обобщении, систематизации и дальнейшем развитии методологии автоматизированного структурно-параметрического геометрического моделирования сложной продукции машиностроения;

- разработке новых методик, приемов и алгоритмов вариантного формообразования, осуществлении их программной реализации, проведении компьютерных экспериментов для апробации полученных результатов, их применении на производстве.

Актуальность диссертационной работы подтверждена внедрениями на практике при проектировании и изготовления самолетов, троллейбусов, кораблей, навигационных приборов, создании технических нормативных документов в области машиностроения и т. д.

В выполненном исследовании показана возможность использования предложенной методологии в других, кроме машиностроения, сферах жизнедеятельности человека.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, геометрическое моделирование, компьютерные информационные технологии, машиностроение, структурно-параметрический подход, оптимизация.

ANNOTATION

Virchenko G.A. Generalization of structural-parametric approach to geometric modeling of a machine industry objects. – Manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences, specialty 05.01.01 – Applied Geometry, Engineering Graphics. – Kyiv National University of Building and Architecture. – Kyiv, 2011.

The dissertation is devoted to solving scientific problems of creation and use of computer structural-parametric geometric models of a machine industry objects.

The investigations proposed a generalized concept of computer structural-parametric geometric modeling of various shapes (points, lines, surfaces, bodies, multi-dimensional objects), shown its basic nature for the computer-aided design and technical production.

New methods, ways and algorithms for variant formation of complex systems are designed. New techniques of structurally-parametric computer solid modeling for parts and assembly units and processes of their manufacture and use are created.

The results obtained are applied in practice during the design and manufacture of airplanes, trolley buses, ships, navigation devices, creation of technical regulations, etc.

The possibilities of using the proposed methodology are shown in other spheres than engineering of human activity.

Keywords: computer-aided design, computer information technologies, geometric modeling, machine industry, structurally-parametric approach, optimization.