

Самостян В.Р.  
*Луцький національний технічний університет*

## СУЧАСНІ ПРОГРАМИ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ І КЕРУВАННЯ ЇХНЬОЮ ФОРМОЮ ПРИ ПАРАМЕТРИЧНОМУ ПРЕДСТАВЛЕННІ

В даній роботі проведено огляд сучасних програм геометричного моделювання об'єктів, які дозволяють найбільш якісно управляти геометричними параметрами, формою та технологічним процесом проектування технічних об'єктів. На багатьох підприємствах, що займаються проектуванням та виготовленням складних технічних об'єктів, активно впроваджуються CAD/CAM/CAE-системи, що дозволяють випускати конкурентоспроможну продукцію. В якості типових прикладів побудови CAD/CAM/CAE-систем нового покоління проаналізовано функціональні можливості систем EUCLID QUANTUM і UNIGRAPHICS, призначених для автоматизованого проектування складних виробів машинобудування.

Ключові слова: геометричне моделювання, криві Безьє, твердотільні моделі, функціональні системи.

**Постановка проблеми.** Якісна зміна процесів проектування складної техніки на підприємствах машинобудівної галузі промисловості, повсюдний перехід від традиційних засобів обробки геометро-графічної інформації до безпаперових технологій відкриває нові можливості з використання систем автоматизованого проектування, породжує нові технології, пов'язані з використанням електронної моделі об'єкта проектування.

Основною перевагою при використанні електронної моделі виробу є можливість її використання в різних модулях системи наскрізного проектування класу CAD/CAM/CAE. Ядром такої системи є єдина база даних, в якій зберігається геометрична модель виробу. Практично миттєвий доступ до бази даних дозволяє на кожній конкретній стадії проектування вибирати найбільш зручний спосіб представлення геометричної моделі. Наприклад, при конструюванні зовнішніх обводів виробів найкращим способом буде його тривимірне представлення, включаючи можливість перегляду об'єкту з різних ракурсів. При проектуванні технологічних процесів і режимів виготовлення об'єктів, перевірці коректності числового програмного керування та ін. очевидною вимогою буде можливість візуалізації всієї послідовності операцій, перевірки поведінки матеріалу об'єкта або всієї конструкції в різних ситуаціях.

**Аналіз останніх досліджень.** Головною проблемою є не стільки сам процес моделювання, скільки способи модифікації та оптимізації створених геометричних моделей, що дуже істотно при ітераційному режимі роботи [1]. Саме тому на сьогоднішній день актуальними є проблеми вдосконалення методів геометричного моделювання криволінійних поверхонь і тіл, що використовують стандартний для CAD/CAE/CAM-систем математичний апарат (криві Безьє і NURBS), а також адаптації цих методів для конкретних промислових додатків.

Проблемам геометричного моделювання, у тому числі самому новітньому його напрямку - об'ємному твердотільному моделюванню присвячено значну кількість досліджень [2-5]. Це пов'язано з тим, що різноманіття постановок задач твердотільного моделювання в практиці сучасного проектування технічних та інших об'єктів складної форми вимагає розробки ефективних методів і алгоритмів формування геометричних моделей суцільних тіл.

**Формулювання цілей статті.** Метою даної роботи є огляд сучасних програм геометричного моделювання об'єктів, які дозволяють найбільш якісно управляти геометричними параметрами, формою та технологічним процесом проектування технічних та інших об'єктів.

**Основна частина.** В даний час на багатьох підприємствах, що займаються проектуванням та виготовленням складних технічних об'єктів, активно впроваджуються CAD/CAM/CAE-системи, що дозволяють випускати конкурентоспроможну продукцію. Цей процес обумовлений цілою низкою причин, серед яких чільне місце займають проблеми управління якістю продукції, що випускається, особливо при виході її на світовий ринок і сертифікації на відповідність міжнародним стандартам.

У практиці керівництва підприємствами починають широко застосовуватися методи і принципи загального управління якістю (TQM). При цьому одним із ключових моментів є організація заходів, що передбачають на всіх етапах виробничого процесу все необхідне для забезпечення якості продукції: кращі комплектуючі та матеріали, сучасне високотехнологічне обладнання, інструменти та

засоби вимірювань, висококваліфікований персонал і необхідну документацію всіх рівнів. Дія системи якості, взаємопов'язаної з вище переліченими чинниками, поширюється на всі етапи життєвого циклу продукції: від первісного виявлення потреб ринку до кінцевого задоволення встановлених вимог.

Таким чином, впровадження на підприємстві системи якості нерозривно пов'язано з використанням технологій, забезпечуваних CAD/CAM/CAE-системами. Базуючись на принципах оптимізації і контролю параметрів виробів на всіх етапах проектування і виготовлення, такі системи забезпечують комплексне виконання проектних робіт при значному скороченні їх термінів і одночасному підвищенні якості. Основною метою при цьому є постійне зниження собівартості своєї продукції і оновлення її асортименту, поліпшення показників надійності, ремонтпридатності, економічності та ін.

Відзначимо важливі тенденції сучасного розвитку систем автоматизації в промисловості:

- інтеграція автоматизованих систем CAD/CAM/CAE на основі єдиної інформаційної технології;

- впровадження об'єктно-орієнтованого підходу і на цій базі - надання користувачам більш природного інтерфейсу;

- відкритість систем автоматизації для розширень;

- розширення класів систем автоматизації по потужності і професійної орієнтації зі збереженням можливості інтеграції програмних продуктів в єдине середовище.

У зв'язку з тим, що процес повної автоматизації виробництва пов'язаний з великими капіталовкладеннями, в даний час намітився так званий трирівневий підхід, або пірамідальна схема.

В основі піраміди знаходяться системи нижнього рівня, призначені для автоматизації випуску документації та програмування 2,5-осьовий ЧПУ-обробки «за електронним кресленням». Вони скорочують терміни випуску конструкторської документації, дозволяючи економити час на розробці великої кількості проектів, але такі системи не оберігають конструктора від помилок навіть при повній відповідності документації ЕСКД.

Наступний шар - системи середнього рівня, що дозволяють створити об'ємну модель виробу, за яким визначаються масово-інерційні, міцнісні та інші характеристики, моделюється робота механізмів і всі види ЧПУ-обробки. За допомогою таких систем можливе контролювати «збирання» виробів, по фотореалістичним зображенням, відпрацьовувати зовнішній вигляд і випускати документацію. Економічний ефект полягає в багаторазовому підвищенні продуктивності праці при різкому скороченні помилок і відповідно витрат на виріб.

На самій вершині піраміди стоять багатифункціональні системи вищого рівня, які крім перерахованих функцій, володіють наступними можливостями:

- конструювати деталі з контролем технологічності і урахуванням особливостей матеріалу (пластмаса, металевий лист та ін.);

- проводити динамічний аналіз зборки з імітацією складальних пристроїв та інструменту;

- проектувати оснастку з моделюванням технологічних процесів (штамбування, лиття, гнуття), що виключає брак і усуває необхідність у виготовленні натурних макетів, тобто значно зменшує витрати і час на підготовку виробництва виробу.

В якості CAD/CAM/CAE-системи вищого рівня пропонується EUCLID QUANTUM фірми Matra Datavision (Франція) з найбільш повним набором функціональних можливостей. Комплект систем середнього рівня складають [4]: PRELUDE фірми Matra Datavision (Франція), T-FLEX CAD 3D і DOCs фірми «Топ Системи» (Росія), TeMМа-3D фірми АТР (Росія), «Технопро» фірми «Вектор» (Росія). Для оформлення документації та програмування верстатів з ЧПУ на недорогих робочих місцях використовуються T-FLEX CAD 2D фірми «Топ Системи» (Росія), Турбо-Тіграс фірми «Камея» (Росія), СІАП-ТП і ДОКА фірми «Вектор» (Росія). Основною технічною базою для перерахованих систем є графічні робочі станції і персональні комп'ютери з операційними системами сімейства MS WINDOWS і UNIX. Персональні пакети PRELUDE представляють полегшену версію EUCLID і призначені для індивідуальних завдань конструювання, розрахунків та підготовки виробництва. PRELUDE DESIGN, наприклад, можна класифікувати як систему твердотільного моделювання середнього класу. Версії пакету PRELUDE DESIGN розроблені як для робочих станцій UNIX, так і для платформи Wintel.

В якості типових прикладів побудови CAD/CAM/CAE-систем нового покоління проаналізуємо функціональні можливості систем EUCLID QUANTUM і UNIGRAPHICS, призначених для автоматизованого проектування, підготовки виробництва та моделювання технологічних процесів виготовлення складних виробів машинобудування.

Система EUCLID QUANTUM реалізована на базі інструментального середовища CAS.CADE (Computer Aided Software for Computer Aided Design Engineering), що володіє принципово новими властивостями: об'єктна орієнтованість, відкритість для адаптації, розширення та інтеграції. Програми, розроблені за допомогою CAS.CADE, мають властивості переносу в операційних системах UNIX та WINDOWS NT, а модель даних у форматі міжнародного стандарту STEP забезпечує сумісність даних з іншими системами автоматизованого проектування.

Система EUCLID QUANTUM являє собою комплекс підсистем для створення взаємопов'язаних робочих місць дизайнерів, конструкторів і технологів. У системі використовується передова технологія автоматичної параметризації (адаптивного моделювання), що дозволяє швидко створювати і модифікувати деталі і вузли проєктованих виробів і оснащення з урахуванням особливостей матеріалу і технологічних процесів їх виготовлення.

Характерними особливостями EUCLID QUANTUM є:

- об'єктно-орієнтована графічний інтерфейс користувача;
- повна відкритість і асоціативність різномірної інформації про виріб (від геометричної та технологічної до відео) в стандарті STEP.

Конструктору надається можливість використовувати при моделюванні криві Безьє, поверхні NURBS і Безьє, і твердотільні примітиви. Побудовані поверхні допускають операції перетину або об'єднання з автоматичним згладжуванням. Є можливість реконструкції поверхні шляхом введення оцифрованих точок по існуючій натуральній моделі. На безліч точок натягується поверхня, яка згодом може бути модифікована і використана для моделювання. Модель може бути побудована або в традиційному стилі - з точним заданням розмірів і положень, або за допомогою ескізування.

Іншим рішенням задачі комплексної автоматизації підприємства є використання програмних продуктів на основі методології параметричного моделювання фірми UNIGRAPHICS [6]. Для CAD/CAM/CAE систем вищого і середнього рівня, а також для комерційних, внутрішніх виробничих додатків і додатків для обміну даними стандартом де-факто стає геометричне ядро PARASOLID компанії UNIGRAPHICS Solutions Inc., в основу якого покладена теорія неоднорідних раціональних B-сплайнів (NURBS) і кривих Безьє [7,8].

Даний програмний продукт ліцензований для розробників CAD/CAM/CAE систем, включаючи такі відомі фірми як Bentley Systems, Solid Edge, CADMAX, Fujitsu, SolidWorks, Teread, Vero International, MacNeal-Schwendler, Mechanical Dynamics та інших. PARASOLID також широко використовується машинобудівними компаніями для розробки спеціальних внутрішніх додатків. Серед найвідоміших користувачів відзначимо компанії Boeing, General Electric, GM Research Labs, Israel Aircraft Industries, Mitsubishi Motors, Pratt & Whitney.

На основі проведеного аналізу передових промислових систем можна зробити такі основні висновки:

- в сучасних CAD/CAM/CAE-системах геометричне моделювання технічних об'єктів, комп'ютерне рішення геометричних і графічних завдань займають основне місце;
- при створенні реального об'єкта в першу чергу формується геометрія цього об'єкта, його складових частин, після цього вирішуються інші завдання проектування, технології та виготовлення;
- в якості тривимірних геометричних моделей об'єктів проектування використовуються об'ємні твердотільні моделі.

Відзначимо основні переваги застосування геометричної моделі об'єкта у вигляді твердого тіла:

1. Точність і наочність представлення проєктованого виробу, в модель може бути включена вся необхідна істотна інформація.
2. Можливість подання концептуального проєкту виробу на самій ранній стадії проектування за допомогою засобів реалістичного рендеринга і віртуальної реальності.
3. Можливість автоматичної побудови креслень. Наприклад, в EUCLID QUANTUM і UNIGRAPHICS основна робота при отриманні зображень розрізів зборок виконується автоматично, включаючи генерацію ліній розрізів і штрихування.
4. Прямий інтерфейс з програмами технологічного аналізу GFEM, NASTRAN, ANSYS, EUCLID ANALYST, що сприймають на вході геометрію твердого тіла, автоматично генеруючих сітку кінцевих елементів і виконують на ній розрахунки з виведенням результатів на тривимірну модель. Аналіз може полягати в розрахунку і найпростіших фізичних (наприклад, масово-інерційних) характеристик деталі, і в виконанні більш складних видів досліджень, включаючи міцнісний, термічний, вібраційний, кінематичний і динамічний аналізи.

5. Можливість імітації різноманітних виробничих процедур. Для візуальної оцінки динаміки виконання процедур може застосовуватися мультиплікація.

6. Можливість моделювання механічної обробки, що дозволяє оцінити якість деталі з деформації (викривлення, перекосу, викривлення).

7. Використання процесу швидкого прототипування (RP). Вихідними даними для системи RP є STL-файли, що генеруються по тривимірним геометричним моделям.

8. Унікальні можливості для технологічної підготовки виробництва. На основі твердотільної моделі виробу досягається п'ятикратне поліпшення в точності обробки поверхонь і в чотири-шість разів скорочується час програмування верстатів ЧПУ.

**Висновки.** Використання системи вищого рівня EUCLID забезпечує скорочення собівартості продукції на 20-30%, а часу і витрат на підготовку виробництва - на 30-50%. Модульна структура багатофункціонального комплексу EUCLID дозволяє оснастити необхідними підсистемами робочі місця дизайнерів, конструкторів, технологів та керівників підприємств будь-якої галузі.

Враховуючи вищевикладене, зробимо основні висновки:

- в CAD/CAM/CAE-системах приділяється багато уваги вдосконаленню технології геометричного тривимірного моделювання;

- в даний час розроблені практично всі основні методи для твердотільного і поверхневого просторового уявлення геометричних об'єктів;

- одним з основних досягнень сучасного періоду можна вважати розробку методів моделювання кривих і поверхонь довільної форми на основі кривих Безье і неоднорідних раціональних B-сплайнів (NURBS), що стали міжнародним промисловим стандартом для проектування складних криволінійних поверхонь.

1. Самостян В.Р. Вплив геометричних вимог на процеси дискретного моделювання технічних об'єктів [Текст]: дис. канд. техн. наук :05.01.01 / В.Р. Самостян. – Київ: 2011. – 182 с.

2. Романичева Є.Т. та ін. Комп'ютерна технологія інженерної графіка [Текст] / Є.Т. Романичева, Т.Ю. Соколова 2003. – 654 с.

3. Потемкин А.Е. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС-3D [Текст] / А.Е. Потемкин – Издательство БХВ-Санкт-Петербург, 2004. – 512 с.

4. Большаков В. П. Твердотельное моделирование деталей в CAD-системах: AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, Creo [Текст] / В.П. Большаков Изд-во: Питер, 2015, – 480 с.

5. Грабченко А.І. та ін. Теорія 3D моделювання [Текст] / А.І.Грабченко, В.Л.Доброскок Навч. посібник. – Х.: НТУ "ХПІ", 2009. – 230 с.

6. Краснов М. Unigraphics для профессионалов [Текст] / М.Краснов – М.: Лори, 2004. – 319 с

7. Манойленко Е.С. Геометрическое моделирование в методах дискретных элементов [Текст] Автореф. дис. канд. техн. наук :05.01.01 / Е.С.Манойленко – Мелитополь: 2002. – 22 с.

8. Ройко О.Ю. Моделирование поверхностей сетками из трикутными комірками з врахуванням дискретного аналогу кривини [Текст] Автореф. дис. канд. техн. наук :05.01.01 / О.Ю.Ройко – Київ : 2015. – 24 с.

## REFERENCES

1. Samostyan, V. (2011). *Influence of geometrical requirements is on the processes of discrete design of technical objects*. Ph.D. Diss. Kyiv, 182 p.

2. Romanycheva, E. et al. (2003). *Computer technology of engineering graphics*. 654 p.

3. Potemkin, A. (2004). *Solid design in the system KOMPAS-3D*. St-Petersburg, 512 p.

4. Bolshakov, V. (2015). *Solid design of details in CAD-systems: AutoCAD, KOMPAS-3D, SolidWorks, Inventor, Creo*. St-Petersburg, 480 p.

5. Grabchenko, A., Dobroskok V. et al. (2009). *Theory of 3D design*. Kharkiv, NTU "HPI" Publ., 230 p.

6. Krasnov, M. (2004). *Unigraphics for professionals*. Moscow, Lory Publ., 319 p.

7. Manoylenko, E. (2002). *A geometrical design is in the methods of discrete elements*. Abstract of Ph.D. Diss. Melitopol, 22 p.

8. Royko, A. (2015). *Design of surfaces by nets with three-cornered cells taking into account discrete to the analogue of curvature*. Abstract of Ph.D. Diss. Kyiv, 24 p.

**Самостян В.Р. Современные программы геометрического моделирования объектов и управления ихней формой при параметрическом представлении.**

В данной работе проведен обзор современных программ геометрического моделирования объектов, которые позволяют наиболее качественно управлять геометрическими параметрами, формой и технологическим процессом проектирования технических объектов. На многих предприятиях, которые занимаются проектированием и изготовлением сложных технических объектов, активно внедряются CAD/CAM/CAE-системы, что позволяют выпускать конкурентоспособную продукцию. В качестве типичных

примеров построения CAD/CAM/CAE-систем нового поколения проанализированы функциональные возможности систем EUCLID QUANTUM и UNIGRAPHICS, предназначенных для автоматизированного проектирования сложных изделий машиностроения.

**Ключевые слова:** геометрическое моделирование, кривые Безье, твердотельные модели, функциональные системы.

***V. Samostyan. Modern software of geometric modeling of objects and management of their form during parametric representation.***

The review of the modern programs of geometrical design of objects, that allow most qualitatively to manage geometrical parameters, form and technological process of planning of technical objects, is conducted in this work. On many enterprises that engage in planning and making of difficult technical objects, CAD/CAM/CAE- systems, is actively inculcated that allow to produce competitive products. As typical examples of construction of CAD/CAM/CAE- systems of new generation functional possibilities of the systems of EUCLID QUANTUM and UNIGRAPHICS, difficult wares of engineer intended for the automated planning are analyzed. A designer gets possibility to use the curves of Bezier for a design, NURBS- of surface and solid primitives. The built surfaces assume the operations of crossing or association with the automatic smoothing. There is possibility of reconstruction of surface by introduction of the digitized points on existing natural model. A surface that afterwards can be modified and used for a design becomes taut on the enormous amount of points. A model can be built or in traditional style - with exact set of sizes and positions, or by means of draft from a hand.

**Keywords:** geometrical design, curves of Bezier, solid models, functional systems.

**АВТОР:**

*САМОСТЯН Віктор Русланович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної і комп'ютерної графіки, Луцький НТУ, e-mail: Viktor.Samostyan@mail.ru

**AUTHOR:**

*Viktor SAMOSTYAN*, Ph.D. in Engineering, Assoc. Professor of Engineering and Computer Graphics Department, Lutsk National Technical University, e-mail: Viktor.Samostyan@mail.ru

Стаття надійшла в редакцію 18.09.2015р.