

УДК 620.175.251

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING CAD PRODUCTS  
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ САПР****Zaika O.M / Заїка О.М.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: +380 679 438 680

*Lutsk National Technical University, Lutsk, Lvivska, 75, 43018**Луцький національний технічний університет, Луцьк, Львівська, 75, 43018*

**Анотація.** Було досліджено схеми побудови твердотільних тіл при комп'ютерному моделюванні в САПР. Твердотільне моделювання в САПР дозволило автоматизувати і поєднати в собі області геометричного моделювання та комп'ютерної графіки, що в свою чергу полегшило роботу інженерів. При дослідженні твердотільних моделей в режимі статичних навантажень, тіло розбивається на безліч частинок для задання властивостей досліджуваної деталі, за допомогою співвідношень зв'язків між частинками. Всі виготовлені компоненти мають скінченні розміри і добре виражені межі, тому спочатку акцент був зроблений на математичному моделюванні жорстких деталей з однорідного ізотропного матеріалу, який може бути доданий або видалений. Ці властивості можуть бути переведені на підмножини тривимірного евклідового простору. Два загальних підходи до визначення міцності базуються на теоретико-множинну топологію і алгебраїчну топологію відповідно.

**Ключові слова:** *тетрайдер, твердотільне моделювання, моделювання, множина точок.*

Моделювання твердих тіл являє собою послідовний набір принципів математичного та комп'ютерного моделювання тривимірних твердих тіл. Твердотільне моделювання відрізняється від суміжних областей геометричного моделювання та комп'ютерної графіки наголосом на фізичних властивостях. Разом, принципи геометричного і твердотільного моделювання є основою автоматизованого проектування і загальної підтримки створення, обміну, візуалізації, анімації, опису і анотування цифрових моделей фізичних об'єктів.

Застосування твердих методів моделювання дозволяє автоматизувати кілька складних інженерних розрахунків, які проводяться як частина процесу проектування. Моделювання, планування і перевірка процесів, таких як обробка було одним з основних каталізаторів для розвитку твердотільного моделювання. Зовсім недавно, діапазон програм, які підтримуються на виробництвах було значно розширено, щоб забезпечити виготовлення листового металу, лиття під тиском, зварювання, будівництва труб. Крім традиційного виробництва, тверді методи моделювання є основою для швидкого прототипування, цифрових архівних даних і зворотного проектування за допомогою відновлення твердих частинок з вибіркової точок на фізичних об'єктах, з використанням механічного аналізу кінцевих елементів, кінематичний і динамічний аналіз - механізмів, і так далі. Головною проблемою у всіх цих додатків є здатність ефективно представляти та маніпулювати тривимірною геометрією таким чином, щоб вона узгоджувалась з фізичною поведінкою реальних артефактів. Дослідження і розробка моделювання твердих тіл ефективно вирішило багато з цих питань, і продовжує залишатися в центрі уваги комп'ютерного проектування[1].

Поняття твердотілого моделювання, як це практикується сьогодні, залежить від конкретної необхідності інформаційної повноти в механічних системах геометричного моделювання, в тому сенсі, що будь-яка комп'ютерна модель повинна підтримувати всі геометричні запити, які можуть бути задані його відповідним фізичним об'єктом. Вимога побічно визнає можливість кількох комп'ютерних уявлень одного і того ж фізичного об'єкта до тих пір, як будь-які два таких уявлення узгоджуються. Неможливо підрахунками перевірити інформаційну повноту уявлення, якщо поняття фізичного об'єкта не визначене в термінах обчислюваних математичних властивостей і не залежить від будь-якого конкретного уявлення. На сьогодні такі міркування привели до розробки парадигми моделювання, що сформувало поле твердотілого моделювання[2].

Всі виготовлені компоненти мають скінченні розміри і добре виражені межі, тому спочатку акцент був зроблений на математичному моделюванні жорстких деталей з однорідного ізотропного матеріалу, який може бути доданий або видалений. Ці властивості можуть бути переведені на властивості підмножин тривимірного евклідового простору. Два загальних підходи до визначення міцності покладаються на теоретико-множинну топологію і алгебраїчну топологію відповідно. Обидві моделі визначають, як тверді частини можуть бути побудовані з простих частин або елементів.

Регуляризація двомірної множини замиканням його внутрішності. Всі точки будь-якого  $X \subset \mathbb{R}^3$  можуть бути класифіковані відповідно до їх околу по відношенню до  $X$ , як внутрішні, зовнішні або граничні точки. Припускаючи, що  $\mathbb{R}^3$  наділена типовою евклідовою метрикою, окіл точки  $p \in X$  приймає форму відкритої кулі. Для  $X$ , щоб вважати твердим, кожна околиця будь-якого  $p \in X$  повинна бути послідовно тривимірною; точки з більш низькими мірними околицями вказують на відсутність монолітності. Розмірна однорідність околиць гарантуються для класу замкнутих регулярних множин, визначається як множину рівних із замиканням їх інтервалів. Будь-який  $X \subset \mathbb{R}^3$  може бути перетворений в закрити регулярну множину або регуляризується замиканням свого інтервалу, таким чином, моделювання простору твердих речовин математично визначається як простір замкнутих регулярних підмножин  $\mathbb{R}^3$  (по теоремі Гейне-Бореля). Крім того, тверді речовини повинні бути закриті під булевими операціями множин об'єднання, перетину і різниці (щоб гарантувати міцність після додавання матеріалів і видалення). Застосовуючи стандартні логічні операції для замкнутих регулярних множин, вони можуть не утворити замкнуту регулярну множину, але ця проблема може бути вирішена шляхом регуляризації результатів застосування стандартних логічних операцій. Врегульований набір операцій позначаються як  $\cup^*$ ,  $\cap^*$ ,  $i^*$ .

Комбінаторна характеристика множини  $X \subset \mathbb{R}^3$  як твердого тіла включає в себе  $X$ , що виражена як клітинний комплекс орієнтований таким чином, що клітини забезпечують скінченні просторові адреси для точок в іншому незліченному континуумі. Клас напіваналітично обмежених підмножин евклідового простору є замкнуто щодо булевих операцій і володіє додатковою властивістю, а саме кожна напіваналітична множина може бути розділена на

сукупність непересічних клітин розмірів 0,1,2,3. Триангуляція (топология) напіваналітичної множини в сукупності точок, відрізків, трикутних граней і тетраедричних елементів є прикладом стратифікації, яка зазвичай використовується. Комбінаторна модель монолітності також підсумована тим, що в доповненні з напіваналітичної обмеженої підмножини, тверді частинки є тривимірними топологічними багатогранниками. Модель комбінаторного різноманіття монолітності також гарантує кордон простору твердих розділених на два компоненти, як наслідок теореми Жордана-Брауера, таким чином усуваються множини з не різноманітними районами, які неможливо виготовити.

Множина точок і комбінаторні моделювання твердих тіл повністю узгоджуються один з одним, вони можуть бути використані як взаємозамінні, спираючись на континуумні або комбінаторні властивості за потребою, і може бути розширений до  $n$  вимірювань. Ключова властивість, що полегшує цю послідовність в тому, що клас замкнутих регулярних підмножин  $\mathbb{R}^n$  точно збігаються з однорідно  $n$ -вимірними топологічними багатогранниками. Таким чином, кожне  $n$ -вимірне тверде тіло може бути однозначно представлене його межею, а межа має комбінаторну структуру  $n-1$ -мірного многогранника, що має однорідну  $n-1$ -мірні межу.

На підставі прийнятих математичних властивостей, будь-яка схема, яка представляє тверді тіла являє собою спосіб для збору інформації про клас напіваналітичної підмножини евклідового простору. Це означає, що всі представлення є різними способами організації тих же геометричних і топологічних даних у вигляді структури. Всі представлення організовані в термінах скінченного числа операцій на безлічі примітивів. Таким чином, моделювання простору будь-якого конкретного представлення скінченна, і представлення схеми може бути не повністю достатнім, щоб представляти всі типи твердих тіл. Наприклад, тверді речовини, визначені за допомогою комбінацій булевих операцій, вони можуть не обов'язково бути представлені в розгорнутому вигляді примітивного переміщення відповідно до просторової траєкторії, за винятком дуже простих випадків. Це змушує сучасні системи геометричного моделювання до підтримки кількох схем представлення твердих тіл, а також до полегшення ефективного перетворення між схемами уявлення[3].

Нижче наведено список найбільш поширених методів, використовуваних для створення і являють собою твердотільні моделі. Сучасне програмне забезпечення для моделювання може використовувати комбінацію цих схем для подання твердого тіла.

Параметризовані примітивні інстанси - це схеми засновані на русі сімейств об'єктів, кожен член сім'ї відрізняється від іншого за кількома параметрами. Кожна сім'я об'єктів називається загально примітивною, і окремі об'єкти всередині сімейства називаються примітивними екземплярами. Наприклад, сімейство болтів є загально примітивним, і один болт, що задається певним набором параметрів є примітивним екземпляром. Відмінна риса чистих параметризованих схем інстансу є відсутність коштів для об'єднання

примітивів, щоб створити нові структури, які являють собою нові більш складні об'єкти. Іншим основним недоліком цієї схеми є труднощі написання алгоритмів для обчислення властивостей, представлених твердих тіл. Значна кількість інформації про конкретну сім'ю повинно бути вбудована в алгоритми і тому кожен загальний примітив має розглядатися як окремий випадок, не дозволяючи рівномірне загальне обчислення[4].

#### *Просторове розміщення перерахування*

Ця схема являє собою список з просторових осередків, зайнятих твердим тілом. Клітини є кубом фіксованого розміру і розташовані в фіксованій просторовій сітці (інші багатогранні механізми також можливі, але кубики є самим простими). Кожна клітинка може бути представлена координатами однієї точки, наприклад, центроїда клітини. Як правило, конкретний порядок сканування накладається і відповідний упорядкований набір координат називається просторовим масивом. Просторові масиви є однозначними і унікальними представленнями твердих тіл, але занадто багатослівні для використання в ролі «майстрів». Однак, вони можуть бути використані для підвищення продуктивності геометричних алгоритмів, особливо при використанні в поєднанні з іншими представленнями, такими як конструктивна блокова геометрія.

#### *Розбиття клітин*

Ця схема впливає з описів комбінаторних властивостей твердих тіл, описаних вище. Тверде тіло може бути представлене його розбиттям на декілька клітин. Просторові схеми розміщення перерахувань є окремим випадком клітинного розбиття, де всі клітини є кубічними і лежать в регулярній сітці. Клітинне розбиття забезпечує зручні способи для обчислення певних топологічних властивостей твердих речовин, такі, як його в'язкість і текучість.

#### *Граничне представлення*

Часто позначається як B-гер або BREP, — спосіб представлення фігур за допомогою їхніх границь. Тверде тіло являє собою сукупність взаємопов'язаних елементів поверхні — границь між тілом і навколишнім простором.

#### *Моделювання поверхонь сітки*

Аналогічно до граничного представлення, використовується проста поверхня з вершинами і ребрами. Поверхня сітки може бути структурована або неструктурована трикутниками або полігонами вищого рівня.

Конструктивна блокова геометрія часто, але не завжди, є способом моделювання в тривимірній графіці та САПР. Вона дозволяє створити складну сцену або більш складний об'єкт, як комбінацію інших об'єктів за допомогою бітових операцій. Це дозволяє спростити математичний опис складних об'єктів, хоча для цього не завжди використовуються лише прості тіла. Так, часто за допомогою конструктивної блокової геометрії представляють моделі або поверхні, які лише виглядають складними, а насправді, вони являють собою більш хитро скомбіновані або де комбіновано прості об'єкти. В деяких випадках конструктивна блокова геометрія використовує полігональні сітки (англ. *polygonal mesh*), і може бути процедурною та/або параметричною.

Підмітання - основна ідея втілюється в широких схемах просто. Множина

рухається через простір «замітає» обсяг (тверде тіло), яке може бути представлене в русі і встановити його траєкторію. Таке уявлення має важливе значення в контексті додатків, такі як виявлення матеріалу видаленого з різального пристрою, як він рухається уздовж заданої траєкторії, обчислення динамічної інтерференції двох твердих тіл, зазначених відносним рухом, планування руху, і навіть в комп'ютерних графічних додатках, такі як відстеження руху пензля, що рухається на полотні. Сучасні дослідження показали кілька наближень тривимірних фігур, що рухаються по одному параметру, і навіть рухів декількох параметрів.

Неявне представлення вельми загальний метод визначення множини точок  $X$ , для вказання предикату, який може бути оцінений в будь-якій точці простору. Іншими словами,  $X$  визначається неявно і складається з усіх точок, що задовольняють умові, заданого предиката. Найпростіша форма предиката є умова про ознаку речової функції, що призводить до знайомого уявлення про множини рівностей і нерівностей.

Параметричні функції на основі моделювання, визначаються як параметричні форми, пов'язані з атрибутами, такими як власні геометричні параметри (довжина, ширина, глибина тощо), положення і орієнтація, геометричні допуски, властивості матеріалів, а також посилання на інші функції. Можливості програми також забезпечують доступ до супутніх виробничих процесів і моделям ресурсів. Таким чином, особливості мають семантичний вищий рівень, ніж примітивні замкнуті регулярні множини. Характеристики, як правило, передбачаються сформувані для організації баз даних для повторного використання проектних даних. Параметричне моделювання на основі функції часто поєднується з конструктивною бінарною твердою геометрією (CSG) для повного опису систем складних об'єктів[5].

Історичний розвиток моделювання твердих тіл слід розглядати в контексті всієї історії САПР, основні віхи є розвитком дослідницької системи BUILD з подальшою її комерційним виділенням Ромулом, який продовжував впливати на розвиток Parasolid, ACIS і об'ємне моделювання рішень. Один з перших розробників САПР в Співдружності Незалежних Держав (СНД), АСКОН почав внутрішній розвиток свого власного моделювання твердих тіл в 1990 році. У листопаді 2012 року, математичний розподіл АСКОН став окремою компанією, і був названий c3d Labs. Їй була поставлена задача розробки C3D геометричного моделювання ядра як окремого продукту. Інші внески прийшли з Тука М'янтюля, з його GWB і від проекту GPM що сприяло, зокрема, розвитку гібридних методів моделювання на початку 1980-х років.

Параметризація двовимірних креслень зазвичай доступна в САД-системах середнього і важкого класів. Хоча наголос в цих системах зроблений на тривимірну технологію проектування, і можливості параметризації двовимірних креслень практично не використовується. Параметричні САД-системи, орієнтовані на двовимірне креслення (легкий клас), частіше за все є «урізаними» версіями сучасніших САПР[6].

Тривимірне параметричне моделювання являє собою набагато більш ефективний (але і більш складний) інструмент, ніж двовимірне параметричне

моделювання. В сучасних САПР середнього і важкого класів наявність параметричної моделі закладено в ідеологію самих САПР. Існування параметричного опису об'єкту являє собою базу для всього процесу проектування[9].

Основною метою досліджень в комбінаторній обчислювальній геометрії є розробка ефективних алгоритмів та структур даних для розв'язання задач, які задані в термінах базових геометричних об'єктів: точок, відрізків, багатокутників, багатогранників, та інших.

**Висновки.** На підставі прийнятих математичних властивостей, будь-яка схема, яка представляє тверді тіла являє собою спосіб для збору інформації про клас напіваналітичної підмножини евклідового простору. Це означає, що всі представлення є різними способами організації тих же геометричних і топологічних даних у вигляді структури даних. Основні схеми моделювання дозволяють створювати більш складні твердотільні моделі для подальших статичних розрахунків. Деякі з цих схем виглядають такими простими, що вони взагалі не розглядалися як задачі до моменту винайдення комп'ютерів.

#### Література

1. Planchard, D. (2018). Engineering design with solidworks 2018 and video instruction. SDC Publication.
2. Nasef, M., El-Askary, W., AbdEL-hamid, A. & Gad, H. (2013). Evaluation of Savonius rotor performance: static and dynamic studies. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 123, 1–11. doi: 10.1016/j.jweia.2013.09.009
3. Narayan, K., Rao, K. & Sarcar, M. (2008). Computer aided design and manufacturing. New Delhi, India: Prentice hall of India.
4. Meyer, P., Davoli, F. & Zappatore, S. (2010). Remote instrumentation and virtual laboratories: service architecture and network. London, UK: Springer.
5. Matsson, J. (2011). An introduction to solidworks flow simulation 2011. SDC Publication.
6. Matsson, J. (2014). An introduction to solidworks flow simulation 2014. SDC Publication.
7. Leondes, C. (2001). Computer-aided design, engineering, and manufacturing: systems techniques and application. Press LCC.
8. Leon, N. (2009). The future of computer-aided innovation. Computers in Industry, 60(8), 539–550. doi: 10.1016/j.compind.2009.05.010
9. Gibiansky, A. (2011). Fluid dynamics: the Navier-Stokes equations—Andrew Gibiansky. Retrieved from <http://andrew.gibiansky.com/blog/physics/fluid-dynamics-the-navier-stokes-equations/>
10. Diwakar, A., Poojary, S. & Noronha, S. B. (2012). Virtual labs in engineering education: Implementation using free and open source resources. 2012 IEEE International Conference on Technology Enhanced Education (ICTEE). doi: 10.1109/ict.2012.6208670

**Abstract.** Schemes of construction of solids at computer modeling in CAD were investigated. Solid modeling in CAD allows to automate and combine the fields of geometric modeling and computer graphics, which in turn facilitated the work of engineers. In the study of solid-state models in the mode of static loads, the body is divided into many particles to specify the properties of the investigated part, using the ratios of the bonds between the particles. All manufactured components have finite dimensions and well-defined boundaries, so initially the emphasis was on the mathematical modeling of rigid parts from a homogeneous isotropic material that can be added or removed. These properties can be translated into the properties of subsets of three-dimensional Euclidean space. Two general approaches to determining strength rely on set topology, algebraic topology and respectively. Function-based parametric modeling is often combined with constructive binary solid geometry (CSG) to fully describe complex object systems.

**Keywords:** tetraider, solid modeling, simulation, set of points.

Науковий керівник : д.т.н., проф. Рудь В.Д.

Статья відправлена: 21.05.2020 г.

© Заїка О.М