

ОСНОВНІ ТИПИ ВХІДНИХ ДАНИХ

В загальних рисах механічний об'єкт можна представити інформаційною моделлю, що складається із сукупності опису геометричної та математичної моделей, а також його стану.

Геометрична модель являє собою формальний опис топології області, а також її деякого дискретного представлення (наприклад, гранично- або скінченно-елементного розбиття), що враховує та описує зовнішні поверхні або межі об'єкта.

Математичну модель у самому загальному виді можна представити як деякий опис рівняння стану процесу (диференціальне, інтегральне або варіаційне), початкові та граничні умови. Більш детальний опис математичної моделі об'єкта напряду залежить від вибору чисельного методу розв'язання задачі.

Як правило, інформаційна модель механічного об'єкта формується у препроцесорі САПР.

Препроцесор являє собою блок підпрограм, що забезпечують завдання геометрії досліджуваного об'єкта, граничних умов, фізико-механічних характеристик матеріалу, законів стану, режимів управління, обробки та видачі результатів розрахунку та реалізують процедуру скінченно-елементної дискретизації об'єкта. Типова структура препроцесора САПР для механічних задач представлена на рис. 1.

Для опису конструкції при розв'язанні методом скінченних елементів вводяться дві, а інколи й три, системи координат. В базисній декартовій системі координат задаються геометричні координати вузлів, компоненти навантажень, граничні умови. У місцевій криволінійній системі координат, пов'язаній зі скінченним елементом, задаються нумерація та сіткові координати вузлів (як приклад, див. об'єкт циліндричної форми на рис. 2). Якщо матеріал є

анізотропним, то у місцевій криволінійній системі координат, пов'язаній із напрямом анізотропії, задаються механічні сталі матеріалу.

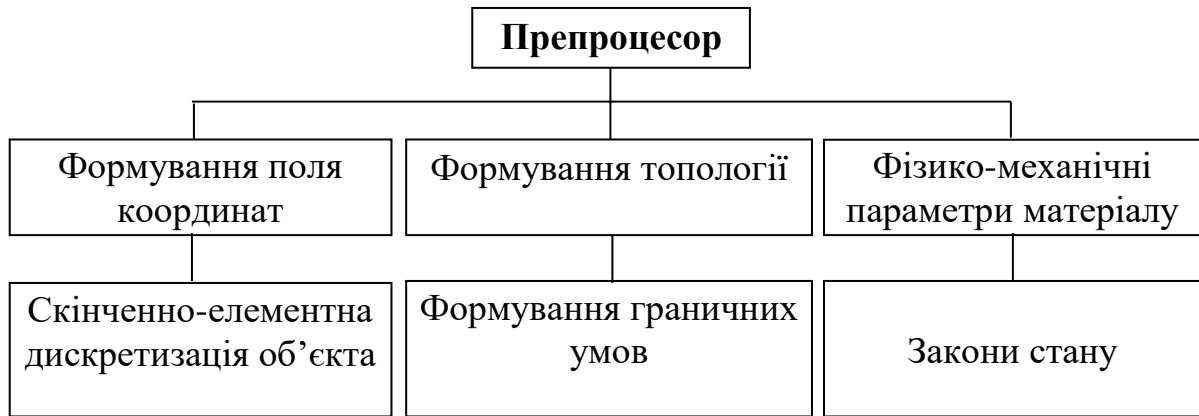


Рис. 1. Структура препроцесора

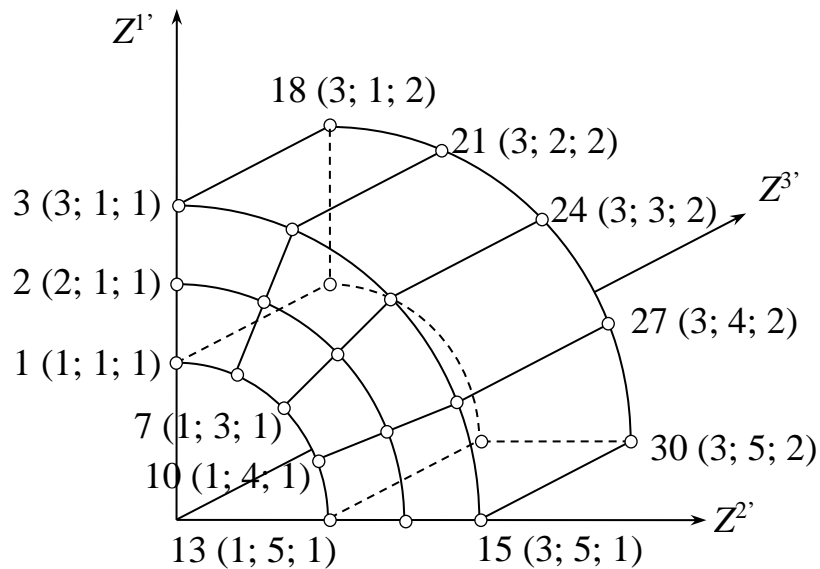


Рис. 2. Просторова та сіткова нумерація вузлів

Побудова дискретної моделі можлива за допомогою генераторів сіток. Але якщо об'єкт має просту форму то можливе застосування регулярних сіток, коли задається сітка розбиття на скінченні елементи $M1 \times M2 \times M3$, де $M1$ – кількість вузлів по першій осі, $M2$ – кількість вузлів по осі, $M3$ – кількість вузлів по осі. Сітка скінченних елементів наноситься в залежності від силових чинників,

геометрії конструкції. Для зменшення машинного часу для розрахунку конструкції рекомендується вибирати сітки таким чином, щоб кількість вузлів у першому напрямі була мінімальною. Геометрія конструкції задається у вигляді масиву координат вузлових.

Масив вузлових навантажень формується для вузлів грані скінченного елемента, на яку діє навантаження.

Кінематичні граничні умови формуються у вигляді заборони на переміщення в тому чи іншому напрямі осей, або для вимушених зміщень у вигляді відомих значень деяких складових вектору вузлових переміщень.

Задаються механічні сталі матеріалів об'єкту. Наприклад, при розв'язанні задачі пружності для однорідних ізотропних матеріалів це модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона, для волокнистого композиту із трансропним волокном поздовжній модуль пружності волокна; поперечний модуль пружності волокна; коефіцієнт Пуассона волокна, що характеризує поперечне стискання у площині ізотропії при розтягуванні за осьовим напрямом; коефіцієнт Пуассона волокна у площині ізотропії (або модуль поперечного зсуву волокна); модуль поздовжнього зсуву волокна; модуль пружності матриці; коефіцієнт Пуассона матриці. У випадку ізотропії волокна, кількість пружних сталих для нього теж зменшується до двох.

Враховуючи дискретне представлення конструкції, напрям анізотропії властивостей матеріалу задається в центрі скінченного елемента напрямом дотичної до просторової кривої, що описує геометрію анізотропії. Цей напрям у просторі можна описати або вектором, або охарактеризувати двома кутами.

ОГЛЯД ТА КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДИСКРЕТИЗАЦІЇ ТІЛ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Автоматизація рішення проблеми побудови геометричної моделі складного тіла у сучасних САПР складається із двох стадій:

- 1) автоматизація побудови комп'ютерного представлення геометричної моделі;
- 2) автоматизація побудови дискретної моделі.

Поняття суцільного тіла

Для геометричного моделювання предметів із ненульовим об'ємом використовують об'єкти, що називаються суцільними (solid) тілами або просто тілами.

Поняття «суцільне» застосовується для тіл, які можна змоделювати підмножиною тривимірного Евклідова простору E^3 , що задовольняє умовам:

- інваріантність структури та форми відносно розташування у просторі (рис. 1, а);
- однорідність – відсутність ізольованих та «висячих» ланок межі (рис. 1, б);
- скінченність займаної частини простору (площі, об'єму);
- замкненість відносно бульових операцій: в результаті їх застосування до суцільних тіл отримуємо теж суцільні тіла;
- скінченність опису;
- детермінованість межі.

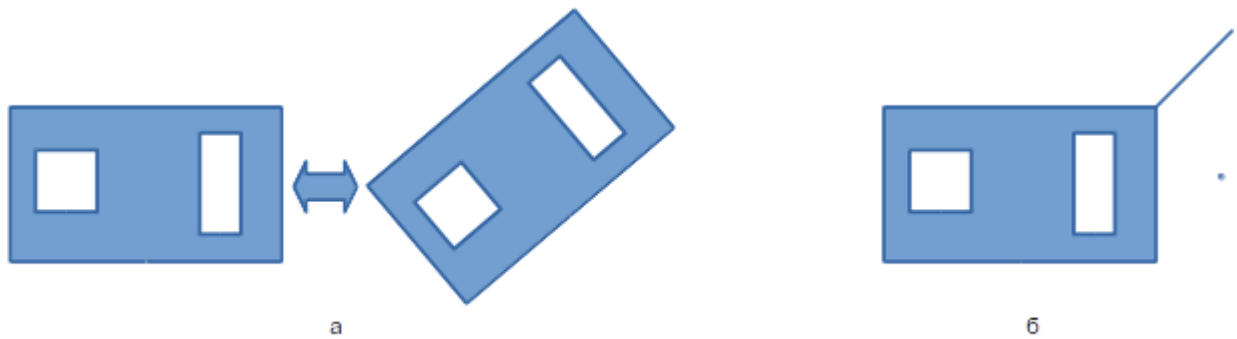


Рис. 1. Суцільна та несуцільна множина

Методи геометричного моделювання складних тіл

Для методів геометричного моделювання можна визначити властивості:

- область визначення – множина тіл, які можна описати за допомогою метода геометричного моделювання;
- однозначність – метод геометричного моделювання однозначний, якщо геометрична модель представляє єдиний об'єкт (рис. 2);
- одиничність – можливість побудови геометричної моделі об'єкта єдиним шляхом;
- точність – геометрична модель є точною, якщо вона не використовує апроксимацію геометричної структури об'єкта;
- уявність (валідність) – неможливість створення моделі виродженого об'єкта;
- замкненість відносно логічних операцій – результат логічних операцій (об'єднання, перетин та інші) над моделями суцільних тіл є моделлю суцільного тіла;

– компактність та ефективність – можливість компактного збереження структури об'єкта та наявність ефективних алгоритмів для визначення необхідних фізичних характеристик.

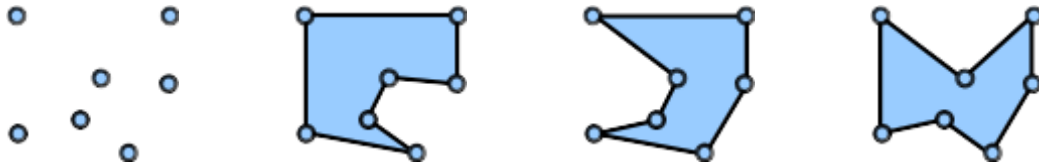


Рис. 2. Неоднозначність представлення многокутника неупорядкованою множиною точок

Інженерні креслення

Інженерні креслення – набір плоских проєкцій деталі, що проєктується.

Каркасне представлення

В основу каркасного представлення закладено ідею зберігання інформації про структуру многогранників, що моделюються, у двох таблицях: таблиці вершин та таблиці ребер.

При такому представленні воно може бути неоднозначним (рис. 3).

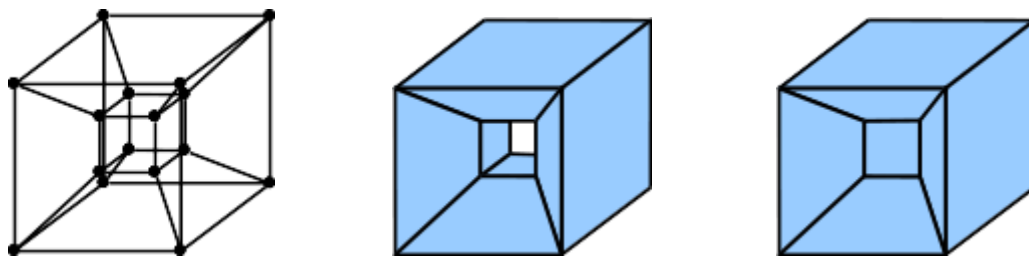


Рис. 3. Приклад неоднозначності каркасного представлення

Плоскогранне представлення

Плоскогранне представлення є природним рішенням проблеми неоднозначності каркасного представлення тривимірних тіл шляхом додавання інформації про структуру граней.

Макетування параметризованих об'єктів

При такому підході об'єкт, що моделюється задається посиланням на зразок з бібліотеки параметризованих примітивів, які представляються за допомогою використання кортежів, що складаються із коду примітива та послідовного перерахування необхідних параметрів для отримання необхідного об'єкта.

Межове представлення

Представлення об'єкта за допомогою сукупності обмежуючих його меж (рис. 4)

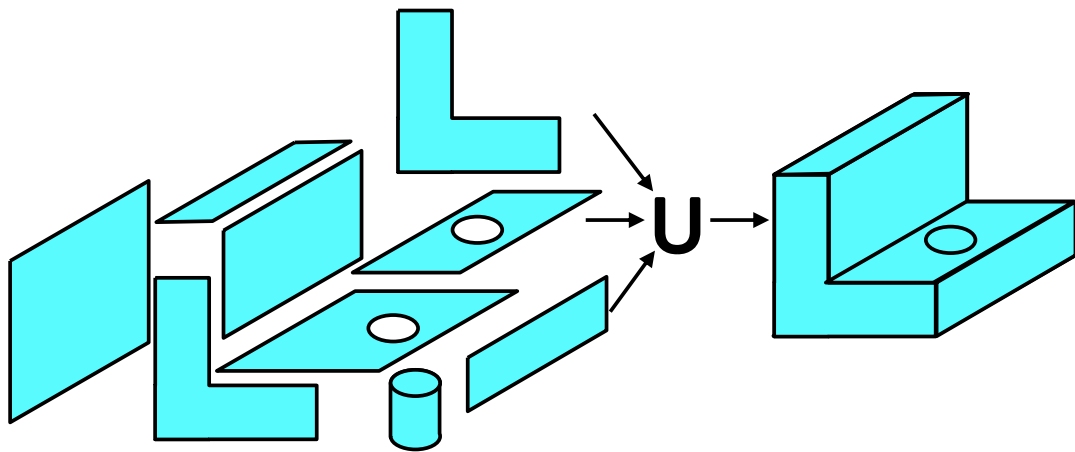


Рис. 4. Межове представлення тіла

Граничне представлення несе два типи інформації – топологічну та геометричну.

Топологічна інформація представляє співвідношення між вершинами, ребрами та гранями, включаючи орієнтацію граней та ребер.

Однією з найрозповсюдженіших структур даних для збереження топологічної інформації є так зване «крилате представлення» (winged-edge). При використанні крилатого представлення передбачається, що ребра та грані – відповідно, відрізки та многокутники. Для кожного ребра важливою є інформація (рис. 5):

- вершини, що обмежують дане ребро;
- ліва та права грані;
- попередні та наступні ребра при обході лівої грані;
- попередні та наступні ребра при обході правої грані.

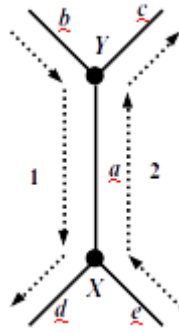


Рис. 5. Структура топологічної інформації про ребро при крилатому представленні

Конструктивна блочна геометрія

Конструктивна блочна геометрія (Constructive Solid Geometry, CSG) – підхід, що використовується для геометричного моделювання складних тіл, який дозволяє створити геометричну модель складного об'єкта за допомогою булевих операцій комбінування деякої множини більш простих об'єктів.

Найпростіші тіла, що використовуються в конструктивній блочній геометрії, називаються примітивами.

Більш складні тіла можуть бути побудовані за допомогою ланцюга булевих множинних операцій. Дане представлення схематично можна відобразити в виді бінарного дерева (CSG-дерево). (рис. 6)

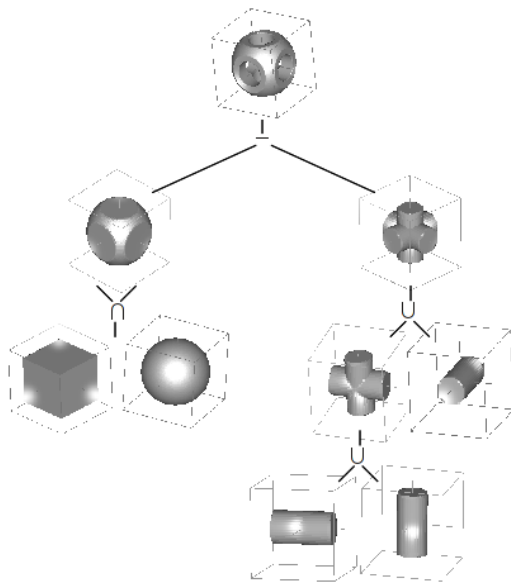


Рис. 6. CSG-дерево моделі складного тіла

Витягування, рух, обертання

Базова ідея даних підходів отримання геометричних моделей, оснований на тому, що в результаті руху плоскості множини у просторі «витягування» об'єм (тіло), може бути представлено об'єктом, що рухається, та його траєкторією. (рис. 7).

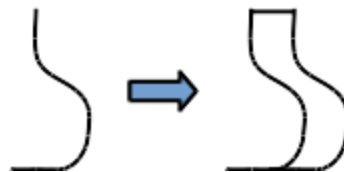


Рис. 7. Область з частиною «висячої» межі, отримане рухом кривої

Параметричне представлення

Параметричне представлення – це підхід, в основі якого покладено ідею не обмежуватися параметризацією двовимірних об'єктів (кривих, поверхонь), а

представити явний доступ до внутрішніх точок тіла з використанням тривимірної параметризації.

Схеми на основі декомпозиції

Схеми на основі декомпозиції представляють тіло як об'єднання елементів, що не перетинаються. Дане представлення поділяється на два типи: основане на об'єкті та основане на просторі.

Представлення на основі серединних осей

Серединні осі (поверхні) – підхід, оснований на ідеї використання скелету многокутника (многогранника), під яким розуміється геометричне місто точок кривої (поверхні), яка утворюється центрами кіл (сфер) максимального радіуса, що дотикаються меж об'єкта (рис. 8).

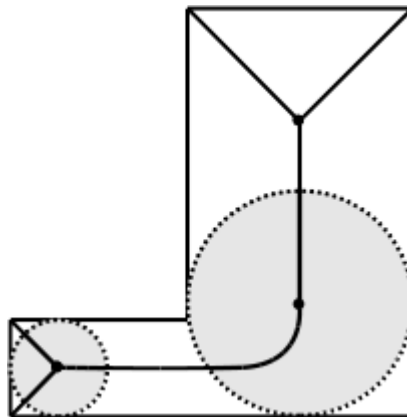


Рис. 8. Серединні осі многокутника

Функціональне представлення

Функціональне представлення – підхід, який засновано на ідеї моделювання геометричної структури тіла за допомогою математичних функцій або співвідношень.

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ТІЛ

Можна запропонувати таку класифікацію методів геометричного моделювання складних тіл по ряду ознак:

- за розміром області визначення: з обмеженою областю визначення та з нескінченною областю визначення;
- за однозначністю інтерпретації результату: однозначні та неоднозначні;
- за ознакою одиничності шляху побудови моделі;
- за ознакою точності: точні та апроксимуючі;
- за ознакою дійсності результату моделювання: що допускають та що не допускають отримання моделей вироджених тіл або об'єктів;
- за ознакою замкненості відносно логічних операцій: замкнені, незамкнені та методи з невизначеними логічними операціями;
- за ознакою компактності збереження даних: компактні та такі, що вимагають більших масивів інформації.