

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни

### **«СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ»**

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти  
за спеціальністю

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

*(Електронне видання)*

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

на засіданні кафедри комп'ютерно-  
інтегрованих систем управління  
Протокол № 6 від 16 грудня 2022р.

Київ 2023

УДК 004.92[621:744]

Конспект лекцій з дисципліни «Сучасні комп'ютерні технології при проектуванні схем автоматизації» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (Електронне видання) / Уклад.: Л. В. Карпюк – Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2023. – 179 с.

Даний конспект лекцій є навчальним виданням для курсу «Сучасні комп'ютерні технології при проектуванні схем автоматизації», який викладається для здобувачів вищої освіти галузі знань автоматизації та приладобудування.

Конспект лекцій містить основні програмні положення курсу, предмет і область застосування сучасних комп'ютерних технологій при проектуванні схем автоматизації, способи подання та збереження зображень, відомості про графічні редактори, детальний опис роботи в середовищі AutoCAD.

Пропонований конспект лекцій сприяє розвитку у здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти як загальнокультурних, так і професійних компетенцій. Розглянуто основні способи використання універсального програмного засобу виготовлення конструкторської документації AutoCAD для моделювання тривимірних об'єктів.

Укладач:

Л. В. Карпюк

Відповідальний за випуск:

Рецензент:

д.т.н., проф. М. Г. Лорія

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	4
ТЕМА 1. ВВЕДЕННЯ ДО КУРСУ «СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ».....	10
ТЕМА 2. МОЖЛИВОСТІ ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ САПР.....	31
ТЕМА 3. ФУНКЦІЇ ТВЕРДОТІЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ. КРИВІ ЛІНІЇ.....	54
ТЕМА 4. КЛАСИФІКАЦІЯ ПОВЕРХОНЬ. РОЗГОРТКИ.....	73
ТЕМА 5. ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ГРАФІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В САД-СИСТЕМАХ.....	83
ТЕМА 6. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	91
ТЕМА 7. МОЖЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ГРАФІЧНИХ СИСТЕМ.....	102
ТЕМА 8. СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ ТІЛ І ПОВЕРХОНЬ.....	109
ТЕМА 9. МОДИФІКАЦІЯ ТВЕРДИХ ТІЛ.....	124
ТЕМА 10. КОМАНДИ РЕДАГУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В 3D МОДЕЛЮВАННІ.....	133
ТЕМА 11. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ КРЕСЛЕННИКІВ В ТРИВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ.....	140
ТЕМА 12. АВТОМАТИЧНЕ СТВОРЕННЯ ЕКРАНІВ ВИДІВ ТА ОРТОГОНАЛЬНИХ ПРОЄКЦІЙ.....	152
ТЕМА 13. ПРОЄКТУВАННЯ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	159
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	177

## ВСТУП

Автоматизація технологічних об'єктів і процесів є основним напрямом, що визначає вирішальні фактори підвищення продуктивності та поліпшення умов праці. У сучасних умовах усі існуючі та промислові об'єкти, що будуються, оснащуються засобами автоматизації. В залежності від складності технологічних об'єктів, їх оснащення засобами контролю та управління здійснюється технічними системами з різними рівнями автоматизації. Для найскладніших виробництв (енергетика, металургія, машинобудування, хімія, виробництво мінеральних добрив) передбачається комплексна автоматизація – АСУ ТП.

Автоматизація виробництва завжди починається з розробки відповідної проєктної документації, тобто з проєктування систем автоматизації.

Курс «Сучасні комп'ютерні технології при проєктуванні схем автоматизації» (СКТприПСА) спрямований на те, щоб навчити майбутнього спеціаліста проєктувати системи автоматичного і автоматизованого контролю та управління для сучасних технологічних об'єктів та процесів, розробляти та читати необхідну проєктну документацію.

У сучасних умовах також неможливо уявити роботу інженера без можливості 3D-моделювання приборів, виробів, конструкцій і споруд. Тривимірна модель дозволяє працювати над проєктом «як у житті», оперуючи його реальним тривимірним представленням, дає можливість наочно оцінити проєкт, виявити помилки і колізії ще на етапі розробки. Маючи тривимірну модель, фахівці можуть проводити над нею різні розрахунки, отримувати фотореалістичні зображення, анімаційні ролики і багато іншого.

3D-моделювання представляє собою процес використання програмного забезпечення для створення математичного представлення тривимірного об'єкту або форми. Створений об'єкт називається 3D-моделлю, і такі тривимірні моделі використовуються в різних галузях. Програма 3D моделювання повинна відповідати сучасним вимогам і дозволяти вирішити більшу частину завдань.

Тому в даному курсі розглядаються основи систем 3D-моделювання.

**Метою викладання** навчальної дисципліни «Сучасні комп'ютерні технології при проектуванні схем автоматизації» є: ознайомлення із сучасними підходами до автоматизації проектування, опанування студентами сучасних комп'ютерних прикладних програм, які підвищують продуктивність праці у проектно-конструкторській роботі і проектуванні технологічних комплексів та апаратів на виробництві, а також оволодіння базовими знаннями в проектуванні, технології виготовлення і підготовці технічної документації; забезпечення достатнього рівня теоретичних знань, необхідних для розуміння принципів проектування, ознайомлення студентів: з основами комп'ютерної графіки, геометричного моделювання; із сучасними інтерактивними графічними системами для рішення завдань автоматизації креслярсько-графічних робіт.

**Завданням дисципліни** є вивчення загальних питань конструювання вузлів приладу (зокрема, електронного); оволодіння комп'ютерними прикладними програмами, які застосовуються в інженерній практиці. За оцінками фахівців, на сучасному етапі розвитку промисловості однією з найбільш популярних систем автоматизованого проектування є система AutoCAD.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

**знати:**

- сучасні принципи, сутність, побудову та технології САПР електронної апаратури,
- основні етапи науково-дослідної та дослідно-конструкторської розробки САПР електронної апаратури;
- специфіку методичного та програмного забезпечення САПР електронної апаратури;
- основні види інформаційного забезпечення САПР радіоелектронної апаратури;
- методи автоматизованого проектування конструкцій;
- методи автоматизованого проектування технологічних процесів різного рівня ієрархії;
- математичні моделі проектування;

- сучасні системи автоматизованого проєктування;
- основні принципи побудови систем автоматизованого проєктування;
- способи виводу графічних матеріалів.

**вміти:**

- оцінювати сучасний стан САПР електронної апаратури різних видів та типів, засобів вимірювальної техніки;

- вірно вибирати методики проєктування САПР;

- проєктувати структурні схеми автоматизованих системи управління різних типів в середовищі AutoCAD

- орієнтуватися в особливостях технічного забезпечення САПР електронної апаратури;

- самостійно розробляти математичні моделі, що використовуються при проєктуванні САПР електронної апаратури.

- провести постановку інженерної задачі та утворення математичної моделі;

- самостійно здійснити вибір математичних методів рішення практичних задач;

- використовувати довідкову та навчально-методичну літературу для розв'язання основних задач інженерного змісту в середовищі AutoCAD.

Вивчення дисципліни «Сучасні комп'ютерні технології при проєктуванні схем автоматизації» дає здобувачам вищої освіти комплекс знань і навичок, необхідних для виконання індивідуальних завдань у навчальному закладі й подальшій роботі на виробництві.

Велику роль при вивченні цього предмета грає комп'ютерне й програмне забезпечення навчального процесу. Підготовка грамотного користувача, що вміє ставити перед собою завдання з проєктування технічних об'єктів і виготовлення конструкторської документації та здатного їх вирішувати за допомогою такого сучасного інструмента, як комп'ютер, повинна включати вивчення питань застосування обчислювальної техніки в області машинної графіки, можливостей застосування різних графічних навичок і вивчення спеціальної літератури.

Зміст та обсяг аудиторних занять навчальної дисципліни «Сучасні комп'ютерні технології при проектуванні схем автоматизації» денної форми навчання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Зміст аудиторних занять здобувачів вищої освіти за денною формою навчання у 3-му семестрі

Назва теми та короткий зміст лекційних занять	Кількість годин	Рекомендована література
1	2	3
<p><b>Лекція 1</b> Тема 1. Введення до курсу «Сучасні комп'ютерні технології при проектуванні схем автоматизації» <i>Стислий зміст:</i> Вступ. Предмет і завдання курсу. Система геометричного моделювання. Поняття систем CAD/CAM/CAE. Принципи створення системи автоматизованого проектування (САПР). Склад і структура САПР. Предмет і область застосування комп'ютерної графіки. Відображення інформації. Графічний інтерфейс користувача. Загальні поняття і визначення тривимірного моделювання.</p>	2	[1], [2], [3]
<p><b>Лекція 2</b> Тема 2. Можливості та сфери застосування САПР <i>Стислий зміст:</i> Переваги та можливості САПР. Области використання САПР. CAD/CAM-системи. Загальна інформація про програми комп'ютерного проектування та моделювання (AutoCAD, PTC Creo Parametric, SolidWorks, T-FLEX CAD, 3D's MAX, Maya). Об'ємне моделювання твердого тіла. Способи моделювання.</p>	2	[1], [2], [3]
<p><b>Лекції 3-4</b> Тема 3. Функції твердотільного моделювання. Криві лінії <i>Стислий зміст:</i> Функції створення примітивів. Булеві операції. Замітання. Скіннінг. Скруглення або плавне сполучення. Підняття. Моделювання границь. Об'єктно-орієнтоване моделювання. Моделювання кривих ліній і поверхонь.</p>	4	[1], [2], [3], [4]
<p><b>Лекції 5-6</b> Тема 4. Класифікація поверхонь. Розгортки <i>Стислий зміст:</i> Багатогранники. Криві поверхні. Циліндричні поверхні обертання. Конічні поверхні обертання. Сфера. Торси.</p>	4	[4], [5], [6]

<p><b>Лекція 7</b> Тема 5. Технології і засоби графічного моделювання в САД-системах <i>Стислий зміст:</i> Машинна графіка й графічне моделювання в САПР. Двовимірне й тривимірне проектування в САПР. Загальні поняття AutoCAD LT й аналогічних продуктів. Машинобудівні додатки. Графічний редактор AutoCAD. Типи моделей в AutoCAD. Інтерфейс програми AutoCAD.</p>	2	[1], [5], [6], [7], [8]
<p><b>Лекції 8-9</b> Тема 6. Основні поняття тривимірного моделювання <i>Стислий зміст:</i> Типи тривимірних моделей. Каркасні моделі. Поверхневі моделі. Тверdotілі моделі. Методи задання тривимірних координат. Декартові (прямокутні) координати. Циліндричні та сферичні координати. Задання положення точок в 3D-просторі. Координатні фільтри. Світова система координат (ССК) та система координат користувача(СКК). Середовище для просторових побудов. Простір Моделі. Простір Листа. Розфарбовування 3D об'єктів.</p>	4	[4], [5], [6], [8]
<p><b>Лекція 10</b> Тема 7. Можливості, переваги та недоліки графічних систем <i>Стислий зміст:</i> Система AutoCAD: можливості системи, історія розвитку. Переваги та недоліки використання системи AutoCAD. Спеціалізовані програми на основі АСАD.</p>	2	[4], [5], [9], [10], [11]
<p><b>Лекції 11-13</b> Тема 8. Створення тривимірних тіл і поверхонь <i>Стислий зміст:</i> Примітиви. Ящик, сфера, циліндр, конус, клин, тор. Створення об'єктів видавлюванням (екструзією) та обертанням. Підготовчі операції для створення тіл видавлювання та обертання. Тіла видавлювання. Тіла обертання. Об'єкти складної форми. Об'єднання об'єктів. Віднімання об'єктів. Перетин об'єктів. Взаємодія об'єктів. Використання динамічної СКК.</p>	6	[4], [5], [6], [10]
<p><b>Лекції 14-16</b> Тема 9. Модифікація твердих тіл <i>Стислий зміст:</i> Модифікація тіл шляхом редагування їх граней та ребер. Редагування граней. видавлювання граней. Перенесення граней. Зсув граней. Видалення граней. Поворот граней. Зведення грані на</p>	6	[4], [5], [6], [10]

конус. Копіювання граней. Зміна кольору грані. Редагування ребер. Копіювання ребер. Зміна кольору ребра. Редагування тіл в цілому. Нанесення клейма іншим об'єктом. Очистка тіл. Розділення тіл. Створення оболонки тіла. Створення розрізів та перетинів твердотілих об'єктів. Створення розрізів тіл. Створення перетинів.		
<b>Лекції 17-19</b> Тема 10. Команди редагування об'єктів в 3D моделюванні <u>Стислий зміст:</u> «Стереть». «Копировать». «Зеркало». «Подобие». «Массив». «Перенести». «Повернуть». «Масштаб». «Растянуть». «Увеличить». «Обрезать». «Удлинить». «Разорвать». «Фаска». «Сопряжение». «Расчленить». «Выровнять».	6	[4], [5], [6], [10]
<b>Лекції 20-21</b> Тема 11. Особливості виконання креслеників в тривимірному просторі <u>Стислий зміст:</u> Тривимірні полілінії. Тонування. Грані й багатокутні мережі. Області.	4	[4], [5], [6], [10]
<b>Лекція 22</b> Тема 12. Автоматичне створення екранів видів та ортогональних проєкцій <u>Стислий зміст:</u> Створення екранів видів командою «Т-вид». Призначення команди «Т-вид». Створення першого виду. Створення ортогонального виду. Створення додаткових видів. Створення виду для побудови перетину. Створення проєкцій та перетинів командою «Т-рисование». Призначення команди «Т-рисование». Підготовчі операції. Обробка видів.	2	[4], [5], [6], [9], [10]
<b>Лекції 23-25</b> Тема 13. Проєктування схем автоматизації <u>Стислий зміст:</u> Загальні положення. Схеми автоматизації. Призначення схем автоматизації та загальні принципи їх виконання. Вибір місця розташування технічних засобів. Розміщення зображень приладів та засобів автоматизації на схемі автоматизації. Позиційні позначення на схемах автоматизації. Вимоги до оформлення та приклади виконання схем автоматизації технологічних процесів.	7	[13], [14], [15], [16]
<b>Підсумковий контроль знань</b>		залік

## ТЕМА 1

### ВВЕДЕННЯ ДО КУРСУ «СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ»

#### *Зміст теми:*

- 1.1 Вступ. Предмет і завдання курсу
- 1.2 Поняття систем CAD/CAM/CAE
- 1.3 Система геометричного моделювання
- 1.4 Принципи створення системи автоматизованого проєктування (САПР)
- 1.5 Склад і структура САПР
- 1.6 Предмет і область застосування комп'ютерної графіки
- 1.7 Відображення інформації
- 1.8 Графічний інтерфейс користувача
- 1.9 Загальні поняття і визначення тривимірного моделювання

#### **1.1 Вступ. Предмет і завдання курсу**

Комп'ютерна технологія дозволяє усунути проблеми, які пов'язані з виконанням креслеників на папері. Створюючи кресленики на комп'ютері можливо перенести, скопіювати, видалити зображення, змінити масштаб, формат.

У теперішній час існують 2D та 3D-технології побудови зображень.

За 2D- технологією (традиційною) конструктор будує кресленик як набір плоских зображень деталі: її види, розрізи, перетини та інші необхідні зображення. Об'ємна модель об'єкта знаходиться лише у свідомості конструктора. При цій технології комп'ютерний редактор відіграє роль електронного кульмана, який автоматизує графічну частину роботи над проєктом. Теоретичною основою 2D-технології є нарисна геометрія та інженерна графіка.

За 3D- технологією спочатку створюється просторова модель об'єкта. Це може бути модель машинобудівної деталі, вузла, архітектурної споруди. Модель

можливо оглянути з усіх боків та відредагувати форму. Потім в автоматичному режимі отримують проєкції – види, розрізи та перетини. Користувач визначається, які зображення повинен містити кресленик, та застосувати відповідні команди.

Завдання 3D-моделювання: розробити візуальний об'ємний образ бажаного об'єкта. При цьому образ може бути як копією готового (відомого) об'єкта, так і розроблений з нуля. Для створення тривимірної графіки необхідно знати розташування об'єкта, яке визначається системою координат. Основною є декартова система координат. У тривимірній системі координат осі позначаються як X, Y, Z, причому Z вісь перпендикулярна площині XY. У різних програмах орієнтація осі Z може бути різною.

Місцезнаходження об'єктів, виражених по відношенню до системи координат XYZ, називається світовою системою координат.

Для створення об'ємного зображення існує кілька підходів:

1. **Від площини до об'єму** (Коли креслять плоский об'єкт і для створення тривимірною образу розглядають об'єкт з різних сторін також на площині, приклад - кресленики).

2. **Від об'єму до площини** (в ньому спочатку створюється тривимірний образ і для отримання серії плоских картинок роблять знімки цього тривимірною об'єкту з різних ракурсів, положень тощо).

Переваги та недоліки тривимірною графіки.

**Переваги:**

Реалістичність

Широка сфера застосування

Свобода трансформації об'єктів

**Недоліки:**

Значний об'єм файлів

Програмна залежність

Для створення тривимірних об'єктів найбільш поширеним способом є побудова фігур з сітки полігонів (polygon). Полігон характеризується вершинами (vertices), ребрами (edges), гранями (faces). Об'єкт, що складається з безлічі полігонів, являє собою полігональну сітку, відображення якої може бути повним і неповним.

Полігональні сітки можуть будуватися з трикутників або прямокутників. Поверхня сітки визначається за допомогою додаткових атрибутів. Атрибути поверхні можуть бути простими (суцільний колір) і складними (колір з ефектом блиску). Поверхня також може бути представлена за допомогою одного або більше растрового зображення, які називають текстурними картами (текстурами).

У сукупності властивості поверхні іменуються як матеріали. Наявність одного або більше джерела освітлення дозволяє уявити об'єкт в більш природній формі. Простори з об'єктом і джерелами освітлення носять назви **сцени освітлення**.

Так як полігональні сітки будують за координатами своїх вершин, перетворення об'єктів здійснюють без окремого промальовування кожної його вершини за допомогою матриць, які дозволяють змінювати розміри об'єктів, їх поворот і рух без фактичної зміни значень в його вершинах.

Кожна сцена для малювання володіє точкою перегляду, яка візуалізується за допомогою камер.

Виділяють наступні 5 етапів створення об'єктів:

1. **Моделювання** — це створення об'єктів, які будуть на сцені. Виділяють такі типи моделювання:

- **Моделювання на основі примітивів** (під примітивами розуміють найпростіші параметричні форми: кути, сфери, піраміди). При візуалізації ці об'єкти перетворюються на полігони, але поверхня, що одержується, виглядає більш гладкою за рахунок спеціальних алгоритмів зафарбовування.

- **Моделювання на основі перерізів**. Об'єкти на основі перерізів названі за аналогією з суднобудуванням, в якому застосовується натягування поверхні на довільне переріз. Переріз або плоскі форми в цьому способі розташовують уздовж деякого шляху.

- **Моделювання, засноване на використанні булевих операцій** (перетин, віднімання). Основою служать поверхні. При цьому виділяють наступні поверхні: багатокутні каркаси, клаптики (сплайн-моделювання), в цьому випадку об'єкти змінюються за допомогою контрольних точок. Утворюючі сплайни розташову-

ються по краях створюваної поверхні. Технологія створення плавних форм і моделей, за допомогою керуючих вершин можна впливати не тільки на крайні (контрольні) точки, а й на будь-яку локальну область поверхні. Застосовується для створення образів тварин, людей.

- **Моделювання по поверхні сплайнової сітки.** При цьому створюється сукупність сплайнів у вигляді каркаса, на основі якого формується поверхня.

2. **Текстурування** — це надання поверхням моделі виду реальних матеріалів (дерева, металу, пластику). У процесі створення найпростіших примітивів кожному з них призначається колір, який насправді не є кольором поверхні, а позначає колір каркасної структури. Щоб після візуалізації об'єкта він став реалістичним, застосовують редактор матеріалів. В редакторі можна встановити реальний колір об'єкта, при цьому він може бути основним (визначає покриття всього об'єкта), оточуючим (визначає вплив фонового освітлення), дзеркальним (визначає найбільш яскраві блискучі ділянки поверхні об'єкта) і т. д. У процесі створення матеріалів можуть бути використані карти текстур (растрові зображення реальних об'єктів) та процедурні карти (зображення, які генеруються програмним шляхом). У процесі створення об'єктів можуть накладатися кілька карт одночасно. Це визначає ефекти текстурування. Точне розміщення матеріалів на поверхні об'єктів досягається координатами проєктування. При створенні матеріалів визначаються такі властивості об'єктів, як відображення, заломлення, прозорість. При цьому можна змінювати силу світла, тип поверхні. Це реалізується за допомогою спеціальних алгоритмів.

3. **Освітлення** — це додавання і розміщення джерел світла аналогічно студійної зйомки. Завдяки висвітленню можна сформувати тіні об'єктів сцени, змінити властивості відображення матеріалів, загальний настрій сцени.

4. **Анімація** — це процес створення руху шляхом перегляду швидко змінюваних кадрів (зміна в часі будь-яких властивостей об'єктів, наприклад положення в просторі, розміри, і матеріалів, наприклад, колір, прозорість). Для створення ілюзії руху найчастіше вдаються до математичного опису цього руху.

5. **Візуалізація** необхідна для формування остаточного зображення. Операція носить назву рендеринга. При реалізації враховується:

- якість зображення, при цьому під якістю зображення розуміються ефекти згладжування, створення округлених діагональних ліній (ребер), кількості кроків в полігональній сітці;

- освітлення, наприклад: об'ємне світло, прожектори і їх кількість тощо. Чим складніші ефекти освітлення застосовані, тим більш значні ресурси потрібні для обчислень

- розмір зображення, при цьому під розміром може розумітися як габаритне зображення, так і його роздільна здатність в пікселях.

## 1.2 Поняття систем CAD/CAM/CAE

Сучасні підприємства не зможуть вижити у всесвітній конкуренції, якщо не будуть випускати нові продукти кращої якості, більш низької вартості і за менший час. Тому вони прагнуть використовувати величезні можливості пам'яті комп'ютерів, їх високу швидкодію і можливості зручного графічного інтерфейсу для того, щоб автоматизувати і зв'язати один з одним завдання проектування і виробництва, які раніше були вельми нудними і зовсім не пов'язаними один з одним. Таким чином скорочується час і вартість розробки і випуску продукту. Для цієї мети використовуються технології автоматизованого проектування (computer-aided design - CAD), автоматизованого виробництва (computer-aided manufacturing - CAM) і автоматизованої розробки і конструювання (computer-aided engineering - CAE). Щоб зрозуміти значення систем CAD / CAM / CAE (всі ці системи разом називаються системами автоматизованого проектування - САПР), ми повинні вивчити різні завдання і операції, які доводиться вирішувати і виконувати в процесі розробки і виробництва продукту. Всі ці завдання, взяті разом, називаються **життєвим циклом продукту** (product cycle). Приклад життєвого циклу продукту, наведено на рисунку 1.1.

Прямокутники, намальовані суцільними лініями, представляють два головних процесу, що становлять життєвий цикл продукту: процес розробки і процес виробництва. Процес розробки починається з запитів виробництва, які обслуговуються відділом маркетингу, і закінчується повним описом продукту.

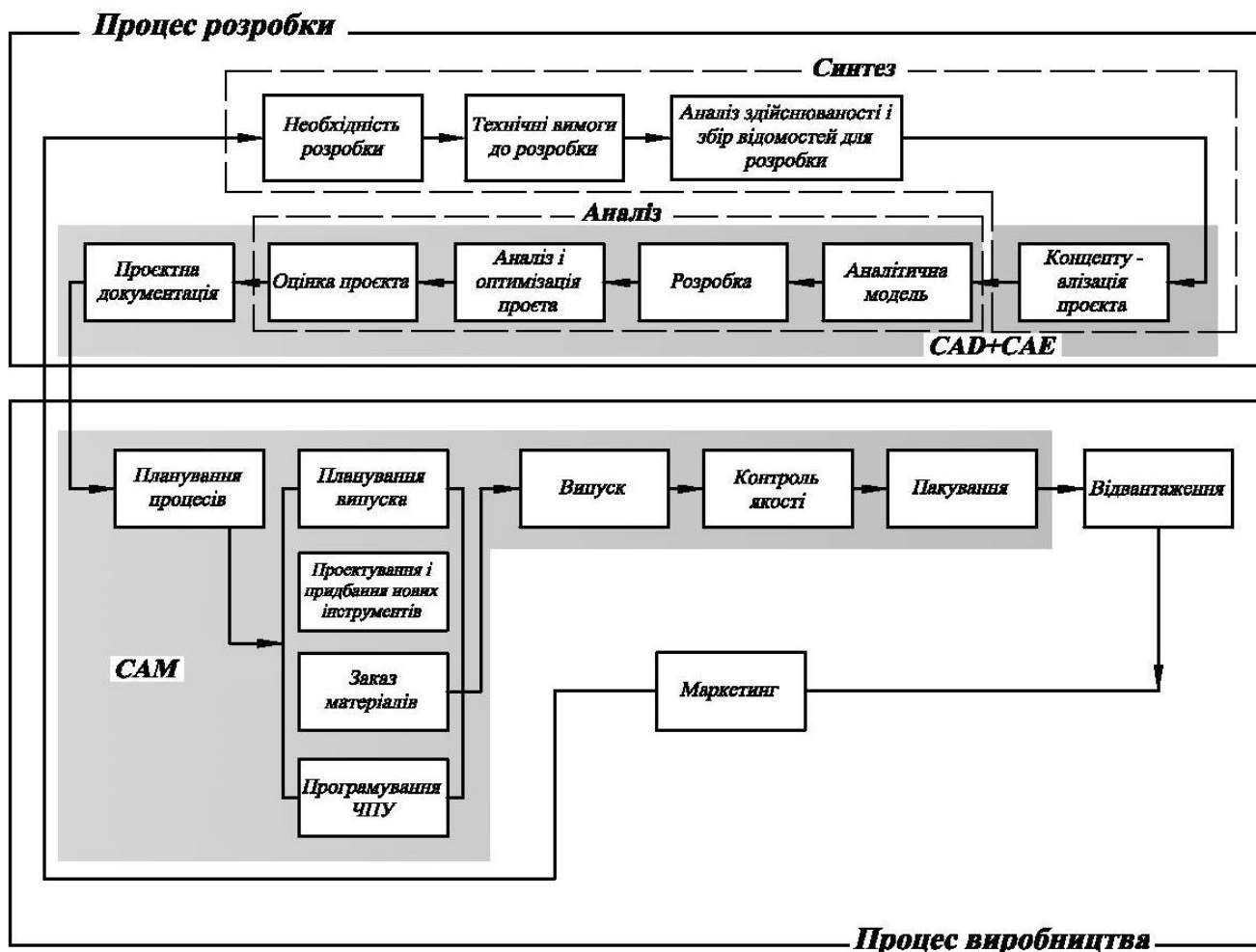


Рисунок 1.1 - Життєвий цикл продукту

Процес виробництва починається з технічних вимог і закінчується поставкою готових виробів замовнику.

Операції, що відносяться до процесу розробки, можна розділити на аналітичні та синтетичні. Як впливає з рисунка 1.1, первинні операції розробки, такі як визначення необхідності розробки, формулювання технічних вимог, аналіз здійсненності і збір важливої інформації, а також концептуалізація розробки, відносяться до підпроцесу синтезу. Результатом підпроцесу синтезу є концептуальний проєкт передбачуваного продукту в формі ескізу або топологічного

кресленика, що відображає зв'язки різних компонентів продукту. У цій частині циклу робляться основні фінансові вкладення, необхідні для реалізації ідеї продукту, а також визначається його функціональність. Велика частина інформації, яку породжується і обробляється в рамках підпроцеса синтезу, є якісною, а отже, незручною для комп'ютерної обробки.

Готовий концептуальний проєкт аналізується і оптимізується - це вже підпроцес аналізу. Перш за все, виробляється аналітична модель, оскільки аналізується саме модель, а не сам проєкт. Незважаючи на швидке зростання кількості і якості комп'ютерів, що використовуються в конструюванні, в доступному для огляду в майбутньому відмовитися від використання абстракції аналітичної моделі ми не зможемо. Аналітична модель вдається, якщо з проєкту видалити незначні деталі, редукувати розмірності і врахувати наявну симетрію. Редукція розмірностей, наприклад, має на увазі заміну тонкого листа з будь-якого матеріалу на еквівалентну площину з атрибутом товщини або довгої і тонкої ділянки на лінію з певними параметрами, котрі характеризують поперечний переріз. Симетричність геометрії тіла і навантаження, яка додається до нього, дозволяє розглядати в моделі лише частину цього тіла.

Після завершення проєктування і вибору оптимальних параметрів починається етап оцінки проєкту. Для цієї мети можуть виготовлятися прототипи. У конструюванні прототипів все більшої популярності набуває нова технологія, названа швидким прототипуванням (*rapid prototyping*). Ця технологія дозволяє конструювати прототип знизу вгору, тобто безпосередньо з проєкту, оскільки фактично вимагає лише даних про поперечному перерізі конструкції. Якщо оцінка проєкту на підставі прототипу показує, що проєкт не відповідає вимогам, описаний вище процес розробки повторюється знову.

Якщо ж результат оцінки проєкту виявляється задовільним, починається підготовка проєктної документації. До неї відносяться кресленики, звіти і списки матеріалів. Кресленики зазвичай копіюються, а копії передаються на виробництво.

Як видно (див. Рисунок 1.1), процес виробництва починається з планування, яке виконується на підставі отриманих на етапі проєктування креслеників, а закінчується готовим продуктом. Технологічна підготовка виробництва - це етап, який встановлює список технологічних процесів по виготовленню продукту і задає їх параметри. Одночасно вибирається обладнання, на якому будуть проводитися технологічні операції, такі як отримання деталі потрібної форми з заготовки. В результаті підготовки виробництва складаються план випуску, списки матеріалів і керуючі програми (УП) для обладнання з ЧПУ. На цьому ж етапі обробляються інші специфічні вимоги, зокрема розглядаються конструкції засобів технологічного оснащення (затискачів, кріплень та ін.). Підготовка займає в процесі виробництва приблизно таке ж місце, як підпроцес синтезу в процесі проєктування, вимагаючи значного людського досвіду і прийняття якісних рішень. Така характеристика має на увазі складність комп'ютеризації даного етапу. Після завершення технологічної підготовки починається випуск готового продукту і його перевірка на відповідність вимогам. Деталі, успішно проходять контроль якості, збираються разом, проходять тестування функціональності, упаковуються, маркуються і відвантажуються замовникам.

Описаний вище життєвий цикл продукту є типовим. Подивимося тепер, яким чином на етапах цього циклу можуть бути застосовані технології CAD, CAM і CAE. Як вже говорилося, комп'ютери не можуть широко використовуватися в підпроцесі синтезу, оскільки вони не мають здатність добре обробляти якісну інформацію. Однак навіть на цьому етапі розробник може, наприклад, за допомогою комерційних баз даних успішно збирати важливу для аналізу здійсненності інформацію, а також користуватися даними з каталогів.

Корисними можуть виявитися засоби параметричного і геометричного моделювання, а також макропрограми в системах автоматизованої розробки креслеників (*computer-aided drafting*). Все це типові приклади систем CAD.

### 1.3 Система геометричного моделювання

*Система геометричного моделювання (geometric modeling system)* - це тривимірний еквівалент системи автоматизованої розробки креслеників, тобто програмний пакет, який працює з тривимірними, а не з плоскими об'єктами.

В аналітичній фазі проєктування цінність комп'ютерів проявляється посправжньому. Програмних пакетів для аналізу напружень, контролю зіткнень і кінематичного аналізу існує стільки, що приводити будь-які назви сенсу не має. Ці програмні пакети відносяться до засобів автоматизованого конструювання (САЕ). Головна проблема, пов'язана з їх використанням, полягає в необхідності формування аналітичної моделі. Проблеми не існувало б зовсім, якби аналітична модель автоматично виводилася з концептуального проєкту.

Однак, як уже зазначалося, аналітична модель не ідентична з концептуальним проєктом - вона виводиться з нього шляхом виключення несуттєвих деталей і редукції розмірностей. Необхідний рівень абстракції залежить від типу аналізу і бажаної точності рішення. Отже, автоматизувати процес абстрагування досить складно, тому аналітичну модель часто створюють окремо. Зазвичай абстрактна модель проєкту створюється в системі розробки робочих креслеників або в системі геометричного моделювання, а іноді за допомогою вбудованих засобів аналітичного пакета. Аналітичні пакети зазвичай вимагають, щоб досліджувана структура була представлена у вигляді об'єднання пов'язаних сіток, які поділяють об'єкт на окремі ділянки, зручні для комп'ютерної обробки. Якщо аналітичний пакет може генерувати сітку автоматично, людині залишається задати лише кордони абстрактного об'єкта. В іншому випадку сітка також створюється користувачем або в інтерактивному режимі, або автоматично, але в іншій програмі.

Процес створення сітки називається моделювання методом кінцевих елементів (*finite-element modeling*). Моделювання цим методом включає в себе також завдання граничних умов і зовнішніх навантажень.

Підпроцес аналізу може виконуватися в циклі оптимізації проєкту за якими-сь параметрами. Розроблено безліч алгоритмів пошуку оптимальних рішень, а

на їх основі побудовані комерційно доступні програми. Процедура оптимізації може вважатися компонентом системи автоматизованого проєктування, але більш природно розглядати цю процедуру окремо.

Фаза оцінки проєкту також вирає від використання комп'ютера. Якщо для оцінки проєкту потрібен прототип, ми можемо швидко сконструювати його по заданому проєкту за допомогою програмних пакетів, що генерують код для машини швидкого прототипування. Такі пакети вважаються програмами для автоматизованої підготовки виробництва (САМ). Зрозуміло, форма прототипу повинна бути визначена заздалегідь в наборі вхідних даних. Дані, що визначають форму, виходять в результаті геометричного моделювання.

Швидке прототипування - зручний спосіб конструювання прототипу, однак ще зручніше користуватися віртуальним прототипом, який часто називається «цифровою копією» (*digital mock-up*) і дозволяє отримати настільки ж корисні відомості.

Коли аналітичні засоби для роботи з цифровими копіями стануть достатньо потужними, щоб давати такі ж точні результати, що і еквівалентні експерименти на реальних прототипах, цифрові копії почнуть витіснення звичайних прототипів. Ця тенденція буде посилюватися у міру вдосконалення технологій віртуальної реальності, що дозволяють нам відчувати цифрову копію так само, як реальний прототип. Побудова цифрової копії називається віртуальним прототипуванням. Віртуальний прототип може бути створений і в спеціалізованій програмі геометричного моделювання.

Остання фаза процесу розробки - підготовка проєктної документації. На цьому етапі надзвичайно корисним виявляється використання систем підготовки робочих креслеників. Здатність подібних систем працювати з файлами дозволяє систематизувати зберігання і забезпечити зручність пошуку документів.

Комп'ютерні технології використовуються і на стадії виробництва. Процес виробництва включає в себе планування випуску, проєктування і придбання нових інструментів, замовлення матеріалів, програмування верстатів з ЧПУ, контроль якості і упаковку. Комп'ютерні системи, що використовуються в цих опе-

раціях, можуть бути класифіковані як системи автоматизованого виробництва. Наприклад, програма автоматизованої технологічної підготовки використовується на етапі підготовки виробництва і відноситься до систем автоматизованого виробництва (САМ). Як зазначалося вище, підготовка виробництва з ледве піддається автоматизації, тому повністю автоматичних систем технологічної підготовки в даний момент не існує. Однак існує безліч хороших програмних пакетів, що генерують код для верстатів з числовим програмним управлінням. Верстати цього класу дозволяють отримати деталь потрібної форми за даними, що зберігаються в комп'ютері. Вони аналогічні машинам для швидкого прототипування.

До систем автоматизованого виробництва відносять також програмні пакети, що керують рухом роботів при зборці компонентів і переміщенні їх між операціями, а також пакети, що дозволяють програмувати координатно-вимірвальну машину (*coordinate measuring machine* - СММ), використовувану для перевірки геометрії продукту.

Отже, ви отримали уявлення про те, яким чином комп'ютерні технології використовуються в етапах, що складають життєвий цикл продукту, і які завдання вирішуються за допомогою систем автоматизованого проєктування.

Згідно вище сказаного, автоматизоване проєктування (*computer-aided design* - САD) є технологією, яка полягає в використанні комп'ютерних систем для покращення створення, зміни, аналізу та оптимізації проєктів. Таким чином, будь-яка програма, що працює з комп'ютерною графікою, так само як і будь-який додаток, що використовується в інженерних розрахунках, відноситься до систем автоматизованого проєктування. Іншими словами, безліч засобів САD простягається від геометричних програм для роботи з формами до спеціалізованих додатків для аналізу та оптимізації. Між цими крайнощами вміщуються програми для аналізу допусків, розрахунку мас-інерційних властивостей, моделювання методом кінцевих

**Найголовніша функція САD** - визначення геометрії конструкції, оскільки геометрія визначає всі наступні етапи життєвого циклу продукту. Для цієї мети зазвичай використовуються системи геометричного моделювання та розробки ро-

бочих креслеників. Ось чому ці системи зазвичай і вважаються системами автоматизованого проєктування. Більш того, геометрія, визначена в цих системах, може використовуватися в якості основи для подальших операцій в системах CAE і САМ. Це одне з найбільш значних переваг САД, що дозволяє економити час і скорочувати кількість помилок, пов'язаних з необхідністю визначати геометрію конструкції з нуля кожен раз, коли вона потрібна в розрахунках. Можна, отже, стверджувати, що системи геометричного моделювання та системи автоматизованої розробки робочих креслеників є найбільш важливими компонентами автоматизованого проєктування.

#### **1.4 Принципи створення системи автоматизованого проєктування (САПР)**

Проєктування - процес складання опису, необхідного для створення в заданих умовах ще неіснуючого об'єкта, на основі первинного опису цього об'єкта і алгоритму його функціонування. Проєктування містить у собі комплекс робіт із знаходження, дослідження, розрахунками і конструювання, що мають метою одержання опис предмета проєктування, необхідного і достатнього для створення нового виробу чи виробу реалізації нового процесу, що задовольняє заданим вимогам.

Під автоматизацією проєктування розуміється такий спосіб виконання процесу розробки проєкту, коли проєктні процедури й операції здійснюються розроблювачем виробу при тісній взаємодії з ЕОМ. Автоматизація проєктування припускає систематичне використання засобів обчислювальної техніки при раціональному розподілі функцій між проєктувальником і ЕОМ і обґрунтованому виборі методів машинного рішення задач.

Для створення систем автоматизованого проєктування (САПР) необхідні:

- удосконалювання проєктування на основі застосування математичних методів і засобів обчислювальної техніки;
- автоматизація процесу пошуку, обробки і видачі інформації;

- використання методів оптимізації і різноманітного проектування;
- застосування ефективних математичних моделей проєктованих об'єктів, що входять до складу комплектуючих виробів і матеріалів;
- створення банків даних, що містять систематизовану інформацію довідкового характеру, необхідну для автоматизованого проєктування об'єктів;
- підвищення якості оформлення проєктної документації;
- збільшення творчої частки праці проєктувальників за рахунок автоматизації нетворчих робіт;
- уніфікація і стандартизація методів проектування;
- підготовка і перепідготовка фахівців в області САПР;
- взаємодія проєктних підрозділів з автоматизованими системами різного рівня і призначення.

САПР - комплекс засобів автоматизації проектування, взаємозалежних з необхідними підрозділами проєктної організації або колективом фахівців (користувачем системи), що виконує автоматизоване проектування. САПР поєднує технічні засоби, математичне і програмне забезпечення, параметри і характеристики яких вибирають з максимальним врахуванням особливостей задач інженерного проектування і конструювання. У САПР забезпечується зручність використання програм за рахунок застосування засобів оперативного зв'язку інженера з ЕОМ, спеціальних проблемно-орієнтованих мов і інформаційно-довідкової бази.

Основна функція САПР - виконання автоматизованого проектування на всіх окремих стадіях проектування об'єктів і їхніх складових частин. При створенні САПР і їхніх складових частин варто керуватися принципами системної єдності, сумісності, типовості, розвитку.

Принцип системної єдності забезпечує цілісність системи і системну «свіжість» проектування окремих елементів і всього об'єкта проектування в цілому (ієрархічність проектування).

Принцип сумісності забезпечує спільне функціонування складових частин САПР і зберігає відкриту систему в цілому.

Принцип типовості орієнтує на переважне створення і використання типових і уніфікованих елементів САПР.

Типізації підлягають елементи, що мають перспективу багаторазового застосування. Типові й уніфіковані елементи періодично проходять експертизу на відповідність сучасним вимогам САПР і модифікуються в міру необхідності.

Створення САПР з урахуванням принципу типізації повинне передбачати розробку базового варіанта комплексу засобів автоматизованого проєктування (КСАП) і його компонентів, а також створення модифікації комплексу засобів автоматизованого проєктування і його компонентів на основі базового варіанта.

Принцип розвитку забезпечує поповнення, удосконалювання і відновлення складових частин САПР, а також взаємодія і розширення взаємозв'язку з автоматизованими системами різного рівня і функціонального призначення.

Розробка САПР являє собою велику науково-технічну проблему, а її упровадження вимагає значних капіталовкладень.

## **1.5 Склад і структура САПР**

Складовими структурними частинами САПР, жорстко зв'язаними з організаційною структурою проєктної організації, є підсистеми, у яких за допомогою спеціалізованих комплексів засобів зважується функціонально закінчена послідовність задач САПР.

За призначенням підсистеми поділяють на проєктуючі і обслуговуючі.

*Проєктуючі підсистеми.* Вони мають об'єктну орієнтацію і реалізують визначений етап (стадію) проєктування або групу безпосередньо пов'язаних проєктних задач. Приклади проєктуючих підсистем: ескізне проєктування виробів, проєктування корпусних деталей, проєктування технологічних процесів механічної обробки.

*Обслуговуючі підсистеми.* Такі підсистеми мають загальносистемне застосування і забезпечують підтримку функціонування проєктуючих підсистем, а та-

кож оформлення, передачу і вивід отриманих результатів. Приклади обслуговуючих підсистем: автоматизований банк даних, підсистеми документування, підсистема графічного введення-висновку.

Системна єдність САПР забезпечується наявністю комплексу взаємозалежних моделей, що визначають об'єкт проєктування в цілому, а також комплексом системних інтерфейсів, що здійснюють зазначений взаємозв'язок. Системна єдність усередині підсистем, що проєктують, забезпечується наявністю єдиної інформаційної моделі тієї частини об'єкта, проєктне рішення по якій повинно бути отримане в даній підсистемі.

## **1.6 Предмет і область застосування комп'ютерної графіки**

Комп'ютерна графіка - це область інформатики, яка охоплює всі сторони формування зображень за допомогою комп'ютера. З'явившись в 1950-х роках, вона спочатку давала можливість виводити лише кілька десятків відрізків на екрані. В наші дні засоби комп'ютерної графіки дозволяють створювати реалістичні зображення, не поступаються фотографічним знімкам. Створено різноманітне апаратне і програмне забезпечення для отримання зображень самого різного виду та призначення - від простих креслеників до реалістичних образів природних об'єктів. Комп'ютерна графіка використовується практично у всіх наукових і інженерних дисциплінах для наочності сприйняття і передачі інформації. Застосування її для підготовки демонстраційних слайдів уже вважається нормою. Тривимірні зображення використовуються в медицині (комп'ютерна томографія), картографії, поліграфії, геофізиці, ядерної фізики та інших областях. Телебачення і інші галузі індустрії розваг використовують анімаційні засоби комп'ютерної графіки (комп'ютерні ігри, фільми). Загальноприйнятою практикою вважається також використання комп'ютерного моделювання при навчанні пілотів і представників інших професій (тренажери). Знання основ комп'ютерної графіки зараз необхідно і інженеру, і вченому.

Кінцевим результатом застосування засобів комп'ютерної графіки є зображення, яке може використовуватися для різних цілей. Оскільки найбільша кількість інформації людина отримує за допомогою зору, вже в стародавні часи з'явилися схеми і карти, використовувані при будівництві, в географії і в астрономії.

Сучасна комп'ютерна графіка - це досить складна, ґрунтовно опрацьована і різноманітна науково-технічна дисципліна. Деякі її розділи, такі як геометричні перетворення, способи опису кривих і поверхонь, до теперішнього часу вже досліджені досить повно. Ряд областей продовжує активно розвиватися: методи растрового сканування, видалення невидимих ліній і поверхонь, моделювання кольору й освітленості, текстуровання, створення ефекту прозорості та напівпрозорості та ін.

## **1.7 Відображення інформації**

Проблема подання накопиченої інформації (наприклад, даних про кліматичні зміни за тривалий період, про динаміку популяцій тваринного світу, про екологічний стан різних регіонів і т.п.) краще за все може бути вирішена за допомогою графічного відображення.

Жодна з областей сучасної науки не обходиться без графічного представлення інформації. Крім візуалізації результатів експериментів і аналізу даних натурних спостережень існує велика область математичного моделювання процесів і явищ, яка просто немислима без графічного виводу. Наприклад, описати процеси, що протікають в атмосфері або океані, без відповідних наочних картин течій або полів температури практично неможливо. В геології в результаті обробки тривимірних натурних даних можна отримати геометрію пластів, що залягають на великій глибині.

В медицині в даний час широко використовуються методи діагностики, які використовують комп'ютерну візуалізацію внутрішніх органів людини. Томо-

графія (зокрема, ультразвукове дослідження) дозволяє отримати тривимірну інформацію, яка потім піддається математичній обробці і виводиться на екран. Крім цього застосовується і двовимірна графіка: енцефалограми, миограма, що виводяться на екран комп'ютера або Графобудівник.

## 1.8 Графічний інтерфейс користувача

На ранньому етапі використання дисплеїв як одного з пристроїв комп'ютерного виводу інформації діалог "людина-комп'ютер" в основному здійснювався в алфавітно-цифровому вигляді. Тепер же практично всі системи програмування застосовують графічний інтерфейс. Особливо вражаюче виглядають розробки в області мережі Інтернет. Існує безліч різних програм-браузерів, що реалізують в тому чи іншому вигляді засобу спілкування в мережі, без яких доступ до неї важко собі уявити. Ці програми працюють в різних операційних середовищах, але реалізують, по суті, одні і ті ж функції, що включають вікна, банери, анімацію і т.д.

У сучасній комп'ютерній графіці можна виділити такі основні напрямки: образотворча комп'ютерна графіка, обробка та аналіз зображень, аналіз сцен (перцептивна комп'ютерна графіка), комп'ютерна графіка для наукових абстракцій (когнітивна комп'ютерна графіка, тобто графіка, сприяє пізнанню).

**Образотворча комп'ютерна графіка** своїм предметом має синтезовані зображення. Основні види завдань, які вона вирішує, зводяться до наступних:

- побудова моделі об'єкта й формування зображення;
- перетворення моделі і зображення;
- ідентифікація об'єкта та отримання необхідної інформації.

**Обробка та аналіз зображень** стосуються в основному дискретного (цифрового) подання фотографій та інших зображень. Засоби комп'ютерної графіки тут використовуються для:

- підвищення якості зображення;

- оцінки зображення - визначення форми, місця розташування, розмірів та інших параметрів необхідних об'єктів;
- розпізнавання образів - виділення і класифікації властивостей об'єктів (при обробці аерокосмічних знімків, введенні креслеників, в системах навігації, виявлення і наведення).

**Аналіз сцен** пов'язаний з дослідженням абстрактних моделей графічних об'єктів і взаємозв'язків між ними. Об'єкти можуть бути як синтезованими, так і виділеними на фотознімках. До таких завдань належать, наприклад, моделювання "машинного зору" (роботи), аналіз рентгенівських знімків з виділенням і відстеженням об'єкта, що цікавить (внутрішнього органу), розробка систем відеоспостереження.

**Когнітивна комп'ютерна графіка**, тільки формується новий напрям, поки ще недостатньо чітко окреслене. Це - комп'ютерна графіка для наукових абстракцій, що сприяє народженню нового наукового знання. Технічною основою для неї є потужні ЕОМ і високопродуктивні засоби візуалізації.

## 1.9 Загальні поняття і визначення тривимірного моделювання

Інженери та конструктори мають справу з математичною (перш за все - геометричною) моделлю розроблюваного виробу. Історично першим і головним мовою їх спілкування (тобто мовою опису інженерних моделей) була мова креслеників. Кресленики (і інші подібні графічні схеми) широко використовувалися (і використовуються досі) не тільки для опису механічного виробу і його частин, але також і для опису електричних схем, архітектурних конструкцій, карт місцевості і т. п. Чіткі стандарти (як національні, так і міжнародні) гарантують однозначне розуміння мови кресленика усіма «читачами» - від інженера - конструктора до токаря, слюсаря і фрезерувальника. Однак створення кресленика вручну - надзвичайно дорога процедура, доступна тільки підготовленим фахівцям і вимагає використання спеціальної креслярської дошки з лінійкою - кульмана, а також різних допоміжних засобів (наприклад, лекал для малювання кривих).

Не дивно, що перші системи автоматизації в цій області були призначені саме для спрощення і прискорення створення креслеників (подібно іншій епохальній концепції автоматизації за допомогою комп'ютера - текстовим процесорам, призначеним для спрощення створення текстових документів і легкого внесення змін до них). Системи класу *computer aided drafting* існують і понині, самий відомих їх представник – AutoCAD. Типова функціональність таких систем включає в себе кошти, необхідні для створення і редагування креслеників, а процес роботи концептуально не відрізняється від роботи в графічному редакторі (основними поняттями графічних моделей таких систем є графічні примітиви з атрибутами, які відображаються рівні, а також різні способи конструювання). З винаходом тривимірної комп'ютерної графіки (можливості реалістичного зображення тривимірної сцени на двовимірному екрані комп'ютера і її обертання за допомогою маніпулятора «миша» в уявному тривимірному просторі) у інженерів з'явилася можливість працювати безпосередньо з тривимірною геометричною моделлю проєктованого виробу, а не з його двовимірними креслениками.

**Модель** - таке представлення даних, яке найбільш адекватно відображає властивості реального об'єкта, суттєві для процесу проєктування.

**Геометричні моделі** описують об'єкти, що володіють геометричними властивостями.

**Геометричне моделювання** - моделювання об'єктів різної природи за допомогою геометричних типів даних.

Геометричне моделювання виявилось справжнім проривом в конструюванні і виробництві виробів. Воно не тільки значно спрощує процес проєктування (тепер інженер-конструктор не зобов'язаний володіти розвиненим просторовим мисленням або використовувати підручні матеріали типу пластиліну - він бачить проєктований виріб безпосередньо на екрані), але й знімає багато комунікативних проблем.

Геометричні моделі в САПР використовуються для вирішення багатьох завдань. В першу чергу вони призначені для зберігання інформації про форму об'єктів і їх взаємне розташування і надання її для обробки в зручному для

комп'ютерної програми вигляді. У цьому ключова відмінність електронної геометричної моделі від кресленника, який представляє собою умовне символічно-графічне зображення, призначене для читання людиною.

Системи геометричного моделювання були створені для того, щоб подолати проблеми, пов'язані з використанням фізичних моделей в процесі проектування. Ці системи створюють середовище, подібне тому, в якій створюються і змінюються фізичні моделі. Іншими словами, в системі геометричного моделювання розробник змінює форму моделі, додає і видаляє її частини, деталізуючи форму візуальної моделі таким же чином, як дитина формує фігурку з пластиліну. Візуальна модель може виглядати точно так же, як фізична, але вона нематеріальна. Однак тривимірна візуальна модель зберігається в комп'ютері разом зі своїм математичним описом, завдяки чому усувається головний недолік фізичної моделі - необхідність виконання вимірювань для подальшого прототипування або серійного виробництва.

#### Питання для самоконтролю

1. Що таке 2D – технологія проектування?
2. Що таке 3D – технологія проектування?
3. Що собою представляє автоматизоване проектування?
4. Що необхідно для створення САПР?
5. Назвіть чотири основні області застосування комп'ютерної графіки
6. Які основні напрямки розвитку комп'ютерної графіки? Які задачі вони вирішують?
7. Що собою представляє система геометричного моделювання?
8. Опишіть відмінність між проектною та аналітичною моделями.
9. Чому аналітична модель відрізняється від проектної?
10. Які аналітичні операції виконуються в рамках процесу розробки?
11. Як використовуються засоби CAD в процесі розробки?
12. Яка основна функція CAD?

13. Який варіант використання засобів САД в процесі розробки вважається найбільш важливим?
14. Перерахуйте найбільш важливі типи засобів САД.
15. Як використовуються засоби САЕ в процесі проектування?
16. Як використовуються засоби САМ в процесі виробництва?
17. Яка мета курсу «Основи систем 3D-моделювання»?

## ТЕМА 2

### МОЖЛИВОСТІ ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ САПР

#### *Зміст теми:*

- 2.1 Переваги та можливості САПР
- 2.2 Області використання САПР
- 2.3 CAD/CAM-системи
- 2.4 Загальна інформація про програми комп'ютерного проектування та моделювання
- 2.5 Об'ємне моделювання твердого тіла
- 2.6 Способи моделювання

#### **2.1 Переваги та можливості САПР**

Процес проектування різноманітних об'єктів можна значно прискорити та спростити, якщо його автоматизувати.

З метою автоматизації процесу проектування, результатом якого є комплект проектно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації виробів та інших об'єктів проектування створено систему автоматизованого проектування (САПР). Вона реалізується на базі спеціального програмного забезпечення, автоматизованих банків даних, широкого набору периферійних пристроїв.

САПР може виконувати розробку повного комплексу конструкторської документації, розрахунок і проектування технологічних схем, технологічного оснащення, конструкцій, санітарно-технічних та електротехнічних систем, складання кошторисів, відомостей матеріалів, специфікацій та ін.

САПР складається з проектуючої і обслуговуючої підсистем. Проектуючі підсистеми безпосередньо виконують проектні процедури. Прикладами проектуючої підсистем можуть слугувати підсистеми геометричного тривимірного моде-

лювання механічних об'єктів, виготовлення конструкторської документації, схемотехнічного аналізу.

Обслуговуючі підсистеми забезпечують функціонування проєктуючих підсистем, їхню сукупність часто називають системним середовищем (або оболонкою) САПР.

Переваги САПР:

1. Більш швидке виконання креслеників (до 3 разів). Дисципліна роботи з використанням САПР прискорює процес проєктування в цілому, дозволяє в стрілі терміни випускати продукцію і швидше реагувати на зміну ринкових кон'єктур.

2. Підвищення точності виконання. На креслениках, побудованих за допомогою системи САПР, місце будь-якої точки визначено точно, а для збільшення достатнього перегляду елементів є засіб, що дозволяє збільшувати або зменшувати будь-яку частину даного кресленика в будь-яку кількість разів.

3. Підвищення якості.

4. Можливість багаторазового використання кресленика. Збережений електронний варіант кресленика може бути використаний повторно для проєктування, коли до складу кресленика входить ряд компонентів, що мають однакову форму. Пам'ять комп'ютера є також ідеальним засобом зберігання бібліотек, символів, стандартних компонентів і геометричних форм.

5. САПР володіє креслярськими засобами (сплайни, сполучення, шари).

6. Прискорення розрахунків і аналізу при проєктуванні.

7. Зниження витрат на оновлення. Засоби аналізу та імітації в САПР, дозволяють різко скоротити витрати часу і грошей на тестування та вдосконалення прототипів, які є дорогими етапами процесу проєктування;

8. Великий рівень проєктування. Потужні засоби, комплексного моделювання. Можливість проєктування нестандартних геометричних форм, які швидко оптимізуються;

9. Інтеграція проєктування з іншими видами діяльності. Інтегровані обчислювальні засоби забезпечують САПР тіснішу взаємодію з інженерними підрозділами.

За можливостями **САПР розрізняються** на:

- інженерні;
- спеціалізовані;
- універсальні;
- унікальні;
- комплексні.

**Інженерні САПР** представляють собою комплекс апаратних та програмних засобів для вирішення однієї вузької проєктної задачі, яку можна розглянути окремо.

**Спеціалізовані САПР** створюються для конкретних виробів та окремих видів робіт, використовуються у масовому виробництві, базуються на різноманітних засобах обчислювальної техніки, пристосовуються до технологічного обладнання для контролю та виготовлення.

**Універсальні САПР** створюються для проєктування широкого класу об'єктів, розрізняють два типи:

- які мають можливість налагоджуватись за рядом характеристик;
- які мають «жорстку» структуру, розраховану на визначені характеристики виробів, що проєктуються.

**Унікальні САПР** створюються для проєктування об'єктів найвищої складності, виконують задачу забезпечення встановлених термінів створення та якості проєкту.

**Комплексні САПР** — системи для проєктування виробів високої функціональної та технологічної складності, у яких значна увага приділяється моделям фізичних процесів, що відбуваються у виробі та бути суміжним з технологічним обладнанням.

## 2.2 Области використання САПР

У межах життєвого циклу промислових виробів САПР розв'язує задачі автоматизації робіт на стадіях проектування і підготовки виробництва. Основна мета створення САПР – підвищення ефективності праці інженерів – включає:

- скорочення трудомісткості проектування і планування;
- скорочення строків проектування;
- скорочення собівартості проектування і виготовлення, зменшення витрат на експлуатацію;
- підвищення якості та техніко-економічного рівня результатів проектування;
- скорочення витрат на натурне моделювання та випробування.

Досягнення цих цілей забезпечується шляхом:

- інформаційної підтримки і автоматизації процесу прийняття рішень;
- автоматизації оформлення документації;
- використання технологій паралельного проектування;
- уніфікації проектних рішень і процесів проектування;
- повторного використання проектних рішень, даних і наробітків;
- стратегічного проектування;
- заміни натурних випробувань і макетування математичним моделюванням;
- підвищення якості управління проектуванням;
- застосування методів варіантного проектування і оптимізації

Найбільш представницькими і широко використовуваними є наступні групи САПР.

САПР для застосування в галузях загального машинобудування. Їх часто називають машинобудівними САПР або MCAD (Mechanical CAD) системами.

САПР для радіоелектроніки. Їхньої назви — ECAD (Electronic CAD) або EDA (Electronic Design Automation) системи.

САПР в області архітектури і будівництва.

Крім того, відомо велике число більш спеціалізованих САПР, або виділених у зазначених групах, або представляючих самостійну галузь у класифікації. Прикладами таких систем є САПР великих інтегральних схем (БІС): САПР літальних апаратів: САПР електричних машин і т.п.

По функціональному призначенню розрізняють САПР або підсистеми САПР. Так, у складі MCAD з'являються CAE/CAD/CAM системи :

- САПР функціонального проєктування, інакше CAE (Computer Aided Engineering)
- системи конструкторські САПР загального машинобудування - CAD системи.

Класифікація САПР за галузевим призначенням:

- Машинобудівні САПР (MCAD англ. Mechanical computer-aided design) - автоматизоване проєктування механічних пристроїв. Застосовуються в машинобудуванні, хімічній промисловості, при створенні обладнання, при виробництві товарів народного споживання і т.д., включають в себе розробку деталей і зборок (механізмів) з використанням параметричного проєктування на основі конструктивних елементів, технологій поверхневого і об'ємного моделювання. Інструментальні засоби проєктування в машинобудуванні - це CAD / CAE / CAM системи. Вони призначені для комплексної автоматизації проєктування, конструювання та виготовлення продукції машинобудування;

- САПР в області архітектури і будівництва (AEC CAD (англ. Architecture, engineering and construction computer-aided design) або CAAD (англ. Computer-aided architectural design). Використовуються для проєктування будівель, промислових об'єктів, доріг, мостів та ін.;

- EDA (англ. electronic design automation) або ECAD (англ. electronic computer-aided design) - САПР електронних пристроїв, радіоелектронних засобів, інтегральних схем, друкованих плат і т. п.

### 2.3 CAD/CAM-системи

Одне з найважливіших напрямків підвищення рівня розв'язуваних технологічних завдань на сучасному етапі - використання комп'ютерів для технологічної підготовки виробництва. Концепція використання комп'ютерних технологій в підготовці виробництва заснована на автоматизації нетворчих робіт і зосередження праці технолога-програміста на вирішенні складних інженерних завдань. Технолог повинен працювати з комп'ютером в режимі діалогу, використовуючи його для виконання необхідних розрахунків. Такий підхід до вирішення завдань технологічної підготовки дозволяє підвищити творчу віддачу технолога.

Найбільший ефект від використання комп'ютерних технологій можна отримати при комплексному вирішенні конструкторських і технологічних завдань - використання інтегрованих систем автоматизованого проектування CAD / CAM.

В даний час існує велика кількість інтегрованих CAD / CAM систем, в яких геометрична інформація з робочого кресленика деталі використовується для автоматизованого програмування обробки на верстатах з ЧПУ. Це CIMATRON, SolidWorks / CAMWorks, UNIGRAPHICS, DELCAM і ін

При використанні систем CAD / CAM для вирішення зазначених завдань слід відзначити наступні тенденції:

- прагнення до високого ступеня автоматизації виконуваних робіт;
- зменшення кількості вхідних параметрів і скорочення витрат на підготовку вихідних даних;
- раціональне поєднання при проектуванні інтерактивного і алгоритмічного методів шляхом формалізації окремих кроків при роботі в діалоговому режимі;
- високий рівень інтелектуалізації інтерфейсу;
- широке використання засобів графічного побудови та контролю.

**CAD** — засоби автоматизованого проектування, в контексті зазначеної класифікації термін позначає засоби САПР призначені для автоматизації двовимірної і / або тривимірної геометричного проектування, створення конструкторської та / або технологічної документації, САПР загального призначення. Для позна-

чення даного класу засобів САПР використовується також термін CADD (англ. Computer-aided design and drafting) - автоматизоване проєктування і створення креслеників.

Функції САD-систем в машинобудуванні підрозділяють на функції двомірного (2D) і тривимірного (3D) проєктування. До функцій 2D відносяться кресленки, оформлення конструкторської документації; до функцій 3D - отримання тривимірних моделей, параметричні розрахунки, реалістична візуалізація, взаємне перетворення 2D і 3D моделей.

Для сучасних САD-систем характерний модульний принцип побудови. Базові модулі конструкторського проєктування призначені для твердотільного і поверхневого моделювання, синтезу конструкцій з базових елементів форми, підтримують параметризацію і асоціативність, проєкційне креслення, виконують розробку креслеників з проставлянням розмірів і допусків. Користувач може поповнювати бібліотеку оригінальними моделями. Синтез тривимірних моделей складної форми можливий витягуванням плоского контуру по нормалі до його площини, його протягуванням уздовж довільної просторової кривої, обертанням контуру навколо заданої осі, натягуванням між декількома заданими перетинами. Синтез збірок виконується викликом або посиланням на бібліотечні елементи, їх модифікацією, розробкою нових деталей. Деталі збірки можна орієнтувати в просторі. Далі слід ввести асоціативні зв'язки.

**САМ** — засоби технологічної підготовки виробництва виробів, забезпечують автоматизацію програмування і управління обладнання з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

Основні функції систем технологічної підготовки виробництва (САМ): розробка технологічних процесів, синтез керуючих програм для технологічного обладнання з числовим програмним управлінням (ЧПУ), моделювання процесів обробки, в тому числі побудова траєкторій відносного руху інструмента і заготовки в процесі обробки, генерація постпроцесорів для конкретних типів обладнання з ЧПУ, розрахунок норм часу обробки.

## 2.4 Загальна інформація про програми комп'ютерного проєктування та моделювання

**CAD-система** (computer-aided design комп'ютерна підтримка проєктування) – це система автоматизованого проєктування, призначена для виконання проєктних робіт із застосуванням комп'ютерної техніки, а також дозволяє створювати конструкторську і технологічну документацію на окремі вироби, будівлі та споруди.

**AutoCAD** – дво- і тривимірна система автоматизованого проєктування і креслення розроблена компанією Autodesk.

Ранні версії AutoCAD оперували невеликим числом елементарних об'єктів, такими як кола, лінії дуги і текст, з яких склалися складніші. У цій якості AutoCAD заслужив репутацію «електронного кульмана», яка залишається за ним і понині. Однак, на сучасному етапі можливості AutoCAD дуже широкі і набагато перевершують можливості «електронного кульмана».

В області двовимірного проєктування AutoCAD як і раніше дозволяє використовувати елементарні графічні примітиви для отримання складніших об'єктів. Крім того, програма надає вельми обширні можливості роботи з шарами і аннотативними об'єктами (розмірами, текстом, позначеннями). Використання механізму зовнішніх посилань (XRef) дозволяє розбивати креслення на складові файли, за які відповідальні різні розробники, а динамічні блоки розширюють можливості автоматизації 2D-проєктування звичайним користувачем без використання програмування. Починаючи з версії 2010 в AutoCAD реалізована підтримка двовимірного параметричного креслення.

Сучасна версія програми AutoCAD містить повний набір інструментів для комплексного тривимірного моделювання (підтримується твердотільне, поверхневе і полігональне моделювання). AutoCAD дозволяє отримати високоякісну візуалізацію моделей з допомогою рендеринга mental ray. Також в програмі реалізовано управління тривимірним друком (результат моделювання можна

відправити на 3D-принтер) і підтримка хмар точок (дозволяє працювати з результатами 3D-сканування).

AutoCAD має версії, призначені для освітніх цілей, доступні для безкоштовного завантаження з сайту освітньої спільноти Autodesk. Освітня версія AutoCAD функціонально нічим не відрізняється від повної, за одним винятком: DWG-файли, створені або відредаговані в ній, мають спеціальну позначку (так званий освітній прапор), яка буде розміщена на всіх видах, при друку файлу (незалежно від того з якої версії — студентської або професійної — виконується друк). Об'єкти, створені в освітній версії не можуть бути використані для комерційного використання. Ці об'єкти «заражують» DWG файли, створені в комерційній версії, якщо імпортуються. Autodesk надає зареєстрованим користувачам безкоштовний доступ до різних програм Autodesk.

**PTC Creo Parametric** — масштабоване, яке забезпечує взаємодію параметричне рішення для максимального підвищення інновації, підвищення якості 3D-проектування виробів і скорочення часу окупності. Програмне забезпечення допомагає швидко надавати найбільш точні цифрові моделі найвищої якості. Крім іншого, цифрові моделі володіють повною асоціативністю, тобто внесені в вироби зміни відображаються у всіх документах. Ось саме це необхідно для досягнення впевненості в цифровому виробі до того, як приступати до істотних інвестицій в поставки матеріалів, виробничі потужності та масове виробництво. Володіючи великою бібліотекою розширень CAD, CAM і CAE, PTC Creo Parametric має можливість зростання і розширення програмного забезпечення.

#### **Основні переваги PTC Creo Parametric:**

- Підвищення продуктивності при більш ефективних і гнучких можливостях 3D-проектування;
- Просте і швидке створення 3D-моделей будь-якої деталі і складання;
- Спеціальний набір інструментів для роботи з великими збірками;
- Автоматичне створення виробничих креслеників, при повній впевненості в тому, що вони завжди відображають поточний виріб;

- Підвищення привабливості зовнішнього вигляду за допомогою можливостей по створенню поверхонь;
- Легке видозмінення нейтральних даних і даних не з CAD PTC від клієнтів і постачальників, що дозволяє уникнути необхідності перетворення файлів або повторного створення 3D-моделей з нуля;
- Миттєвий доступ до бібліотеки деталей, включаючи гвинти, болти, гайки і шайби;
- Отримання миттєвого доступу до комплексних навчальних матеріалів і інструкцій з продукту.

### **Безмежні можливості Creo Parametric**

#### **Твердотільне 3D-моделювання:**

- Створення точної геометрії незалежно від складності моделі;
- Автоматичне масштабування ескізів для швидкого і простого повторного використання;
- Швидке створення таких конструкторських елементів, як скруглення, фаски, отвори і т. П .;
- Створення варіантів деталей за допомогою таблиць сімейств.

#### **Моделювання зборок:**

- Інтелектуальні можливості по роботі зі складаннями;
- Створення спрощених уявлень «на льоту»;
- Обмін полегшеними, але точними уявленнями моделей за допомогою інструменту Shrinkwrap;
- Ефективне виявлення перетинів в реальному часі.

#### **Детальне документування, включаючи 2D і 3D-кресленики:**

- Створення 2D і 3D-креслеників згідно з внутрішніми стандартами;
- Автоматичне створення асоціативних специфікацій матеріалів з примітками;
- Автоматизація створення креслеників і шаблонів

#### **Технічне створення поверхонь:**

- Розробка поверхонь зі складною геометрією з використанням протягування (sweeps), сполучення (blends), розтягування (extends), зсуву (offsets), а також широкого набору спеціалізованих інструментів;
- Обрізка / подовження поверхонь з використанням таких інструментів, як витягування (extrude), обертання (revolve), спряження її протягування;
- Виконання таких операцій з поверхнями, як копіювання, об'єднання, розширення і перетворення;
- Завдання геометрії складних поверхонь.

#### **Вільне моделювання поверхонь:**

- Швидке створення вільних поверхонь і форм з використанням можливостей моделювання з розукрупненням (sub-divisional modeling);
- Параметризовані поверхні високої якості можуть бути негайно використані в процесі детального 3D-проектування;
- Багаторівневе моделювання з розукрупненням для великих можливостей по контролю поверхонь, що дозволяє змінювати деталі без порушення існуючої форми;
- Параметричне управління вільною геометрією шляхом синхронізації з існуючими кривими або ребрами з контролем торкання.

**КОМПАС** (КОМПлекс Автоматизованих Систем конструкторсько-технологічного проектування) — система автоматизованого проектування та підготовки до виробництва фірми «Аскон».

Система КОМПАС-3D —інтерактивний графічний редактор з сучасним інтерфейсом, оснащений інструментальними засобами, які дозволяють створювати твердотілі об'єкти з використанням набору елементарних параметричних тіл (паралелепіпед, циліндр та ін.

Просторові твердотілі та каркасні моделі об'єктів (деталей, вузлів, виробів, будівель і т. п.) при виконанні проектно-конструкторських, технологічних та дизайнерських робіт в машинобудуванні, приладобудуванні, будівництві, архітектурі.

**SolidWorks** – програмний комплекс САПР для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Забезпечує розробку виробів будь-якого ступеня складності і призначення. Працює в середовищі Microsoft Windows.

В SolidWorks використовується принцип тривимірного твердотілого і поверхневого параметричного проектування, що дозволяє конструктору створювати об'ємні деталі і компоувати збірки у вигляді тривимірних електронних моделей, за якими створюються двомірні кресленики і специфікації відповідно до вимог ЕСКД. Тривимірна деталь SolidWorks виходить в результаті комбінації тривимірних примітивів. Більшість елементів засновані на плоскому ескізі, за яким створюється базовий тривимірний об'єкт. Послідовне нарощування 3D об'єктів і дозволяє в підсумку отримати бажаний результат.

Модулі SolidWorks дозволяють розширити базові можливості додатковими функціями по:

- створенню фотореалістичних зображень (PhotoWorks);
- розпізнаванню дерева побудови і параметризації геометрії імпортованої з інших CAD систем (FeatureWorks);
- створенню презентаційних відеороликів виробів в середовищі SolidWorks (SolidWorks Animator);
- тривимірному обведенню кабелів електричних систем і трубопроводів (SolidWorks Routing).

**T-FLEX CAD** — система автоматизованого проектування, розроблена компанією «Топ Системи», об'єднує в собі 3D- і 2D-функціонал. Призначена для створення креслеників деталей і зборок, а також для оформлення конструкторської документації. Система працює на основі геометричного ядра Parasolid.

**3ds MAX** (3D Studio MAX) — повнофункціональна професійна програмна система для створення і редагування тривимірної графіки і анімації, розроблена компанією Autodesk. Містить найсучасніші засоби для художників і фахівців в області мультимедіа. Працює в операційних системах Microsoft Windows і Windows NT.

3ds MAX використовується для створення комп'ютерних ігор, тривимірних анімаційних мультфільмів, рекламних роликів тощо. За допомогою даного редактора зроблено безліч візуальних спецефектів для кінофільмів. Власником торгової марки 3ds MAX є фірма Autodesk.

**Maya** – програмний продукт для 3D-анімації, моделювання, рендеринга. Maya надає універсальний набір функціональних можливостей для комп'ютерної 3D-анімації, моделювання і рендеринга на базі легко розширюваної виробничої платформи. Maya забезпечує інструментарії для створення персонажів високої якості і ефектів, а також підвищення продуктивності для виконання завдань моделювання, роботи з текстурами і завдань створення модулів тонування.

## **2.5 Об'ємне моделювання твердого тіла**

Інженери та конструктори мають справу з математичною (перш за все - геометричною) моделлю розроблюваного виробу. Історично першою і головною мовою їх спілкування (тобто мовою опису інженерних моделей) була мова креслеників. Кресленики (і інші подібні графічні схеми) широко використовували (і використовуються досі) не тільки для опису механічного виробу і його частин, але також і для опису електричних схем, архітектурних конструкцій, карт місцевості і т. п. Чіткі стандарти (як національні, так і міжнародні) гарантують однозначне розуміння мови кресленика усіма «читачами» - від інженера - конструктора до токаря, слюсаря і фрезерувальника. Однак створення кресленика вручну - надзвичайно дорога процедура, доступна тільки підготовленим фахівцям і вимагає використання спеціальної креслярської дошки з лінійкою - кульмана, а також різних допоміжних засобів (наприклад, лекал для малювання кривих).

Не дивно, що перші системи автоматизації в цій області були призначені саме для спрощення і прискорення створення кресленика (подібно іншій епохальній концепції автоматизації за допомогою комп'ютера - текстовим процесорам, призначеним для спрощення створення текстових документів і легкого внесення змін до них). Системи класу computer aided drafting існують і понині,

найвідоміший їхній представник - AutoCAD. Типова функціональність таких систем включає в себе кошти, необхідні для створення і редагування креслеників, а процес роботи концептуально не відрізняється від роботи в графічному редакторі (основними поняттями графічних моделей таких систем є графічні примітиви з атрибутами, які відображаються рівні, а також різні способи конструювання).

## 2.6 Способи моделювання

### Типи (способи) об'ємного моделювання

Хронологічно розрізняють такі підходи до геометричного моделювання:

- каркасне моделювання;
- поверхневе моделювання;
- твердотільне моделювання;
- набагатообразне (гібридне) моделювання.

**Каркасне моделювання** - це історично перша технологія подання об'ємної геометрії. Вона природним чином розвинулася з систем 2D-креслення. Це найпростіший спосіб представлення тривимірних моделей - так звані дротові каркаси, або просто каркаси, які дають незаперечні переваги в порівнянні з моделюванням на площині. Вони допомагають більш чітко уявляти модель і надійно контролювати взаємне розташування складових її елементів. Крім того, каркаси можна використовувати і для створення проєкційних видів.

У системах каркасного моделювання (*wireframe modeling systems*) форма представляється у вигляді набору ліній і кінцевих точок, що характеризують їх. Лінії і точки використовуються для представлення тривимірних об'єктів на екрані, а зміна форми здійснюється шляхом зміни положення і розмірів відрізків і точок. Іншими словами, візуальна модель являє собою каркасний кресленик форми, а відповідний математичний опис являє собою набір рівнянь кривих, координат точок і відомостей про зв'язності кривих і точок. Відомості про зв'язності описують приналежність точок до конкретних кривих, а також перетин кривих між собою. Системи каркасного моделювання були популярні в ту пору, коли геометричне

моделювання тільки почало зароджуватися. Їх популярність пояснювалася тим, що в системах каркасного моделювання створення форм виконувалося через послідовність простих дій, так що користувачам було досить легко створювати форми самостійно.

Недолік каркасного уявлення моделей полягає в тому, що програми не можуть відобразити всіх особливостей поверхонь, що визначаються каркасами, і це унеможлиблює побудову, наприклад, точних перетинів. Візуальне уявлення досить аскетичне і в ряді випадків не дає можливості однозначно інтерпретувати побачене (рисунок 2.1).

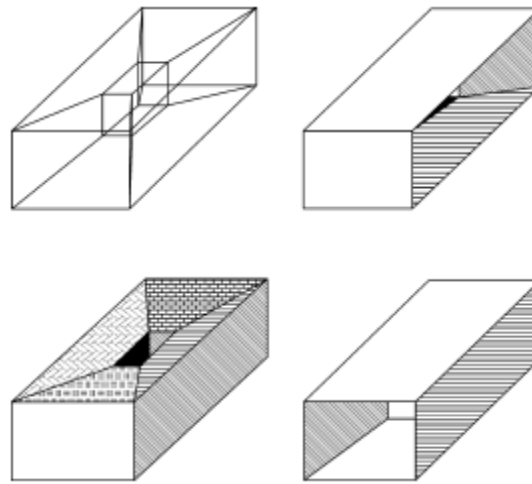


Рисунок 2.1 - Неоднозначні каркасні моделі

Проте навіть така, що має безліч обмежень технологія дозволила істотно розширити функціональні можливості САПР в порівнянні з 2D-системами. Більш того, відповідний математичний опис не містить відомостей про внутрішні і зовнішні поверхні об'єкта, що моделюється. Без цих відомостей неможливо розрахувати масу об'єкта, визначити траєкторії переміщення інструменту при обробці об'єкта або створити сітку для кінцевого елементного аналізу, незважаючи на те що об'єкт здається тривимірним. Оскільки ці операції є невід'ємною частиною процесу проектування, системи каркасного моделювання були поступово витіснені системами поверхневого і твердотільного моделювання.

В даний час побудова каркасів також використовується в геометричному моделюванні САПР, але лише як допоміжна система проміжних побудов.

### *Поверхнєве моделювання*

На відміну від каркасного уявлення, моделювання за допомогою поверхонь має істотно менше обмежень, так як дозволяє визначити своєрідну «оболонку» тривимірного об'єкту.

Геометричні моделі на основі поверхневого уявлення забезпечують якісну візуалізацію, більш простий перехід до побудови розрахункових сіток для чисельного моделювання, забезпечують ряд корисних функцій, таких як побудова просторових сполучень, перетинів, визначення лінії перетину оболонок, генерацію креслярських проєкцій.

Поверхнєві моделі розрізняються за способом апроксимації поверхні. Більш простою в частині структури даних і використовуваних для роботи з ними алгоритмів є *полігональна апроксимація*, коли поверхня представляється набором взаємопов'язаних плоских граней, на практиці частіше за все трикутних. Така апроксимація легко будується, для неї розроблені ефективні алгоритми реалістичної візуалізації, вона не вимагає значних обчислювальних ресурсів, хоча може бути і витратною по пам'яті. Головним обмеженням подібної апроксимації є те, що вона має фіксовану точність, тобто відхилення положення модельної поверхні від «ідеальної» модельованої. Для досягнення високої точності потрібно створення сіток з малим кроком, що веде до зростання вимог до обчислювальних можливостей системи. Тому використання полігональної апроксимації в САПР на поточний момент обмежена підсистемами візуалізації і найпростішого 3D-ескізування.

Традиційно використовуються кілька типових контекстів створення поверхонь:

- плоска поверхня - виходить заповненням плоского контуру (2D-ескіз або набір замкнутих крайок, що лежать в одній площині);

- поверхня витяжки - утворюється в результаті плоскопараллельного витягування замкнутого або розімкнутого 2D / 3D-ескізу в напрямку, перпендикулярно площині ескізу, або під довільним кутом;

- поверхня обертання - виходить обертанням довільного профілю (2D -ескіз) щодо осі;

-поверхня по траєкторії - створюється рухом 2D / 3D ескізу уздовж криволінійної створюючої (2D / 3D-ескіз, 3D-крива) і довільного числа направляючих кривих (2D / 3D -ескіз, 3D - крива), що деформують вихідний контур;

-поверхня по перетинах - аналог поверхні по траєкторії; відрізняється тим, що будується не по одному, а по декількох поперечних перетинах з направляючими кривими;

-гранична поверхня - аналог поверхні по перетинах; відрізняється тим, що будується за кількома довільно зорієнтованими в просторі 3D-крайками інших поверхонь із збереженням дотичності до них і з дотриманням безперервності по другій похідній (гладка стикування); при побудові можуть використовуватися напрямні криві;

-поверхня вільної форми - будується розбиттям сітки з керуючими точками на поверхні грані 3D-моделі; зміна форми поверхні досягається перетягуванням контрольних точок;

-еквідистантна поверхня - виходить зміщенням на певну відстань від існуючих граней або поверхонь;

-поверхня роз'єму - використовується при проєктуванні ливарних форм, а також в якості допоміжної геометрії для поділу матриці і пуансона;

-серединна поверхня - створюється на середині (або заданому відсотку) товщини тонкостінної деталі;

-лінійчата поверхня - будується під кутом до обраної кромки і призначена для побудови граней з ухилом.

У тому випадку, якщо встановлений програмний зв'язок між допоміжним каркасом і результуючою поверхнею, моделювання стає асоціативним, при цьому зміна каркасних елементів веде до автоматичної зміни геометрії поверхонь, побудованих з використанням цього контексту.

У системах поверхневого моделювання (*surface modeling systems*) математичний опис візуальної моделі включає в себе не тільки відомості про характеристичні лінії і їх кінцеві точки, як в каркасному моделюванні, а й дані про поверхні. При роботі з моделлю, що відображається на екрані, змінюються рівняння повер-

хонь, рівняння кривих і координати кінцевих точок. Якщо поверхні не пофарбовані і не затушовані, візуальна модель в системі поверхневого моделювання може виглядати точно так же, як в системі каркасного моделювання.

Математичний опис може включати відомості про зв'язності поверхонь, тобто про те, як поверхні з'єднуються одна з одною і по яким кривим. У деяких додатках ці відомості виявляються дуже корисними. Наприклад, програма для формування траєкторії переміщення фрези з ЧПУ може скористатися цією інформацією для перевірки, чи не зачіпає фреза поверхні, що примикають до оброблюваної.

Існує три стандартних методи створення поверхонь в системах поверхневого моделювання.

1. Інтерполяція вхідних точок.
2. Інтерполяція криволінійних сіток.
3. Трансляція або обертання заданої кривої.

Способи введення для кожного методу можуть залежати від конкретної системи поверхневого моделювання. Однак базовий метод введення для кожної системи легко визначити за представленням кривих і площин.

Системи поверхневого моделювання використовуються для створення моделей зі складними поверхнями, тому що візуальна модель дозволяє оцінити естетичність проекту, а математичний опис дозволяє побудувати програму для обробки поверхонь деталі на верстаті з ЧПК.

Незважаючи на досить широкі можливості, які надає поверхневе моделювання, воно має ряд істотних обмежень з точки зору використання в САПР, зокрема неможливість обчислення обсягів, мас і моментів інерції об'єктів, обмеженість застосування до них булевих операцій (віднімання, об'єднання, перетину).

**Твердотільне (об'ємне) моделювання** - логічний розвиток каркасного і поверхневого. Основний об'єкт моделювання - тривимірне об'ємне тіло, яке може описуватися різними способами: декомпозиційний, конструктивним або граничним. Головною перевагою твердотільного моделювання перед каркасним і по-

верхневим є властивість фізичної коректності - всі твердотільні моделі мають аналоги в реальному світі (чого не скажеш про каркасні і поверхневі моделі).

При використанні твердотільного моделювання, що став на сьогодні стандартом де-факто в 3D CAD / CAM / CAE-системах знімаються обмеження поверхневого моделювання.

Системи твердотільного моделювання (*solid modeling systems*) призначені для роботи з об'єктами, що складаються з замкнутого обсягу, або моноліту (*solid*). У системах твердотільного моделювання, на відміну від систем каркасного і поверхневого моделювання, не допускається створення наборів поверхонь або характеристичних ліній, якщо вони не утворюють замкнутого обсягу. Математичское описание объекта, созданного в системе твердотельного моделирования, содержит сведения, по которым система может определить, где находится какая-либо точка: внутри объема, снаружи него или на его границе. По этим сведениям можно получить любую информацию об объеме тела, а значит, могут быть написаны приложения, работающие с объектом на уровне объема, а не на уровне поверхности.

Якби система твердотільного моделювання вимагала введення всіх даних для повного математичного опису, вона була б занадто складною для користувачів, і вони відмовилися б від неї. Процес деталізації форми не був би схожий на інтуїтивний процес фізичного моделювання, і в результаті вийшло б зовсім не те, на що розраховували творці систем геометричного моделювання. Тому розробники систем твердотільного моделювання намагаються надати прості і природні функції, щоб користувачі могли працювати з об'ємними формами точно так же, як вони працюють з фізичними моделями, не вдаючись у подробиці математичного опису.

### ***Граничні моделі***

***Тверде тіло*** (рисунок 2.2) утворюється в просторі однією або декількома поверхнями, що утворюють замкнутий об'єм. Воно включає в себе грані, ребра (або кромки) і вершини.

**Грань** – частина граничної поверхні, що утворює тіло, границя якої складається з криволінійних сегментів, при перетині яких відбувається суттєва зміна вектора нормалі до поверхні, тобто порушується безперервність зміни кривизни поверхні (рисунок 2.3). Криволінійні сегменти, що обмежують грань, називаються *ребрами*. Точки, в яких зустрічаються сусідні ребра, називаються *вершинами*.

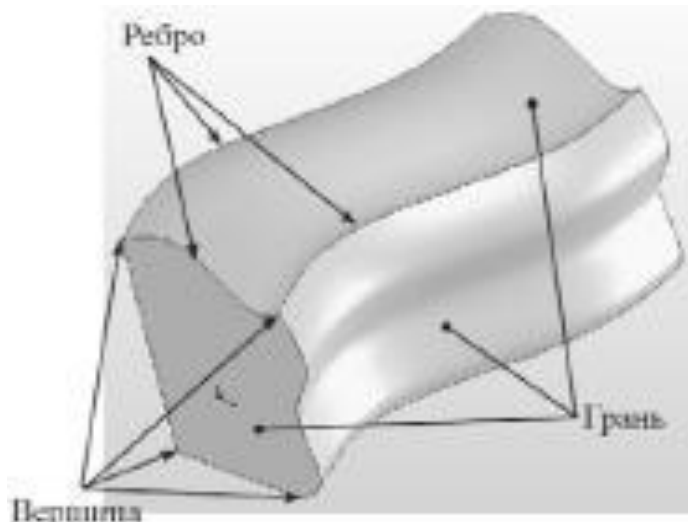


Рисунок 2.2 - Тверде тіло

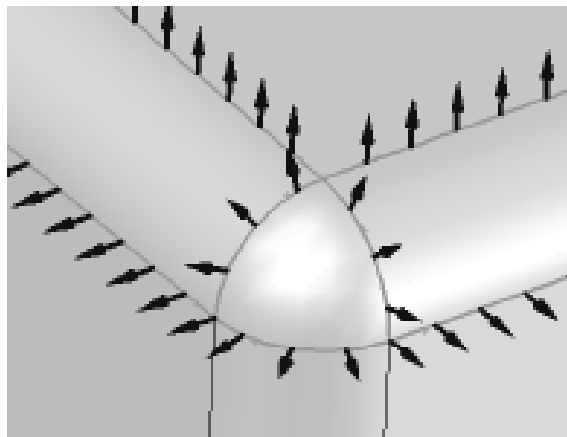


Рисунок 2.3 - Грані, ребра і нормалі до поверхні

**Граничні моделі** зберігають інформацію про межі тіла (гранях, ребрах і вершинах). Для простоти маніпулювання ця інформація поділяється на геометричні і топологічні дані.

Геометричні дані для кожної граничної суті свої:

- для вершини - її координати;

- для ребра - параметричне рівняння кривої (прямої);
- для грані - параметричне рівняння поверхні або тип і набір параметрів в разі канонічної поверхні (площини, сфери, циліндра, конуса, тора).

*Топологічні дані* - це інформація про суміжності вершин і ребер, ребер і граней, а також про внутрішні і зовнішні кордони грані.

У практиці САПР найбільш широке застосування має технологія, що базується на граничному поданні елементарних однозв'язних тіл в сукупності з конструктивною геометрією, яка описує операції над тілами.

Граничне уявлення визначає суцільне тіло неявно шляхом опису обмежує його поверхні. Суть такого уявлення полягає в тому, що тверде тіло описує замкнута просторова область, обмежена набором елементарних тонких поверхонь (граней) з загальними утворюючими контурами (ребрами) на кордоні поверхонь і ознакою зовнішньої або внутрішньої сторони поверхні (рисунок 2.4)



Рисунок 2.4 - Представлення простих твердих тіл

Для опису складних тіл, що моделюють об'єкти реального світу, одержувані обробкою матеріалу або нероз'ємним складанням, використовується ієрархічна структура, що описує тіла як послідовність застосування булевих операцій над набором елементарних твердих тіл (рисунок 2.5).

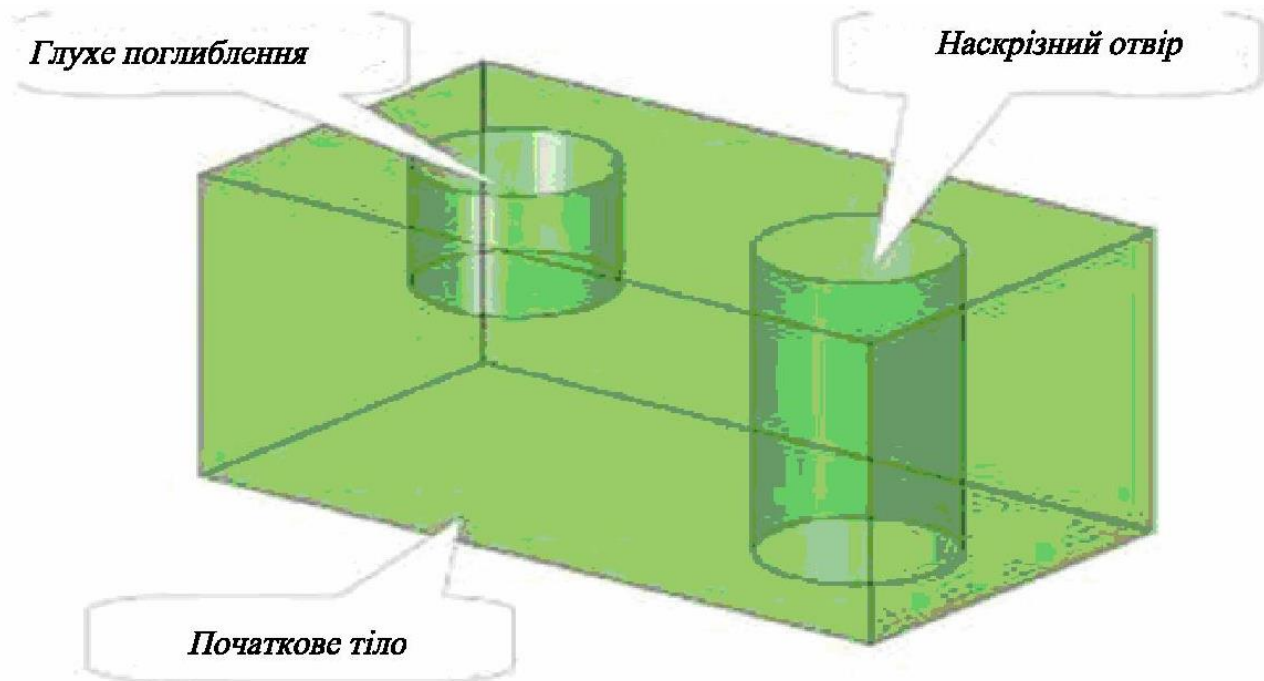


Рисунок 2.5 - Представлення складних твердих тіл

**Небагатообразне (гібридне) моделювання** знімає обмеження, властиві класичному твердотільному моделюванню: з його допомогою можна описувати геометричні моделі, які локально можуть бути не тільки розмірності три (об'ємними тілами), але і розмірності два (поверхнями), один (кривими), нуль (точками), а також ділянками сполучення різноманіть різної розмірності.

#### Питання для самоконтролю

1. Що таке системи САД-системи?
2. Для чого створенна програма AutoCAD?
3. Можливості PTC Creo Parametric.
4. Що собою уявляє SolidWorks?
5. Для чого призначена програма T-FLEX CAD?
6. Де використовується 3ds MAX ?
7. Що надає користувачеві програма Maya?

8. Дайте визначення моделі.
9. Дайте визначення геометричної моделі.
10. У чому суть геометричного моделювання?
11. Для чого використовуються геометричні моделі в САПР?
12. Назвіть способи геометричного моделювання.
13. У чому полягає спосіб каркасного моделювання?
14. Які недоліки каркасного моделювання?
15. У чому суть поверхневого моделювання?
16. У чому переваги і недоліки каркасної і полігональної апроксимації тривимірної геометрії?
17. Перерахуйте типові способи створення поверхонь.
18. У чому суть твердотільного моделювання?
19. У чому відмінність твердотільного моделювання від каркасного і поверхневого?
20. Назвіть методи представлення твердотільних моделей.
21. Поясніть суть уявлення твердого тіла у вигляді граничної моделі.
22. У чому суть небагатообразного (гібридного) моделювання?
23. Яке уявлення геометрії найбільш оптимальне для САПР?

## ТЕМА 3

### ФУНКЦІЇ ТВЕРДОТІЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ. КРИВІ ЛІНІЇ

#### *Зміст теми:*

- 3.1 Функції створення примітивів
- 3.2 Булеві операції
- 3.3 Замітання
- 3.4 Скіннінг
- 3.5 Скруглення або плавне сполучення
- 3.6 Підняття
- 3.7 Моделювання границь
- 3.8 Об'єктно-орієнтоване моделювання
- 3.9 Моделювання кривих ліній і поверхонь

Функції моделювання, що підтримуються більшістю систем твердотільного моделювання, можуть бути розділені на п'ять основних груп.

*В першу групу* входять функції, які використовуються для створення простих форм на основі об'ємних заготовок, наявних в програмі, - так звані функції створення примітивів (*primitive creation functions*). До цієї ж групи належать функції додавання і віднімання об'єму - булеві оператори (*Boolean operations*). Функції моделювання з першої групи дозволяють проєктувальнику швидко створити форму, близьку до остаточної форми деталі, подібно до того, як дитина мле пластилін і створює з нього приблизну фізичну модель.

*До другої групи* відносяться функції створення об'ємних тіл шляхом переміщення поверхні. Функція замітання (*sweeping*) дозволяє створювати об'ємне тіло трансляцією або обертанням області, заданої на площині. Побудова тіла обертання з плоскої кривої називається також обертальним замітанням (*swinging*).

Задаючи замкнуту плоску область, користувач може вказувати геометричні обмеження або вводити дані про розміри, а не малювати форму вручну. Тут під

геометричними обмеженнями розуміються співвідношення між елементами рисунка (перпендикулярність відрізків, дотик дуги окружності відрізком і т. д.). В цьому випадку система побудує точну форму, що задовольняє обмеженням, самостійно. Зміна геометричних обмежень або розмірів дасть іншу плоску область та інше об'ємне тіло. Такий підхід називається параметричним моделюванням, оскільки зміна параметрів дозволяє отримати різні об'єкти. Параметрами можуть бути постійні, що входять в геометричні обмеження, а також розміри. Функція скіннінга (*skinning*) створює об'ємне тіло, натягуючи поверхню на задані поперечні перерізи. Функції другої групи дозволяють проєктувальнику почати моделювання з форми, досить близької до кінцевого результату, оскільки одних поперечних перерізів цілком достатньо для точного опису кінцевого об'ємного тіла.

В третю групу входять функції моделювання, призначені головним чином для зміни існуючої форми. Типовими прикладами є функції округлення або плавного сполучення (*rounding, blending*) і підняття (*lifting*).

До четвертої групи відносяться функції, що дозволяють безпосередньо маніпулювати складовими об'ємних тіл, тобто вершинами, ребрами і гранями. Робота з цими функціями (аналогічними функціями систем поверхневого моделювання) називається моделюванням границь (*boundary modeling*).

У п'яту групу входять функції, використовуючи які проєктувальник може моделювати тверде тіло за допомогою вільних форм. Наприклад, він може давати системі команди типу «зробити отвір такого-то розміру в такому-то місці» або «зробити фаску такого-то розміру в такому-то місці». Робота з такими функціями називається об'єктно-орієнтованим моделюванням (*feature-based modeling*). Останнім часом функціям п'ятої групи приділяється особлива увага, оскільки модель, побудована з їх допомогою, містить інформацію про процес створення, без якої неможливо автоматичне формування плану технологічного процесу для деталі. Зауважте, що модель, створена іншими засобами, містить тільки елементарні геометричні відомості про вершини, ребра і грані.

### 3.1 Функції створення примітивів

*Функції створення примітивів* дозволяють вибрати і створювати найпростіші об'єкти, заздалегідь визначені авторами системи моделювання. Розмір примітиву задається користувачем. Примітиви, підтримувані більшістю систем твердотільного моделювання, показані на рисунку 3.1. Розміри, зазначені на цьому рисунку, можуть встановлюватися користувачем. Примітиви зберігаються в базі даних процедурою, що здійснює їх створення, а параметри примітивів передаються цій процедурі в якості аргументів.

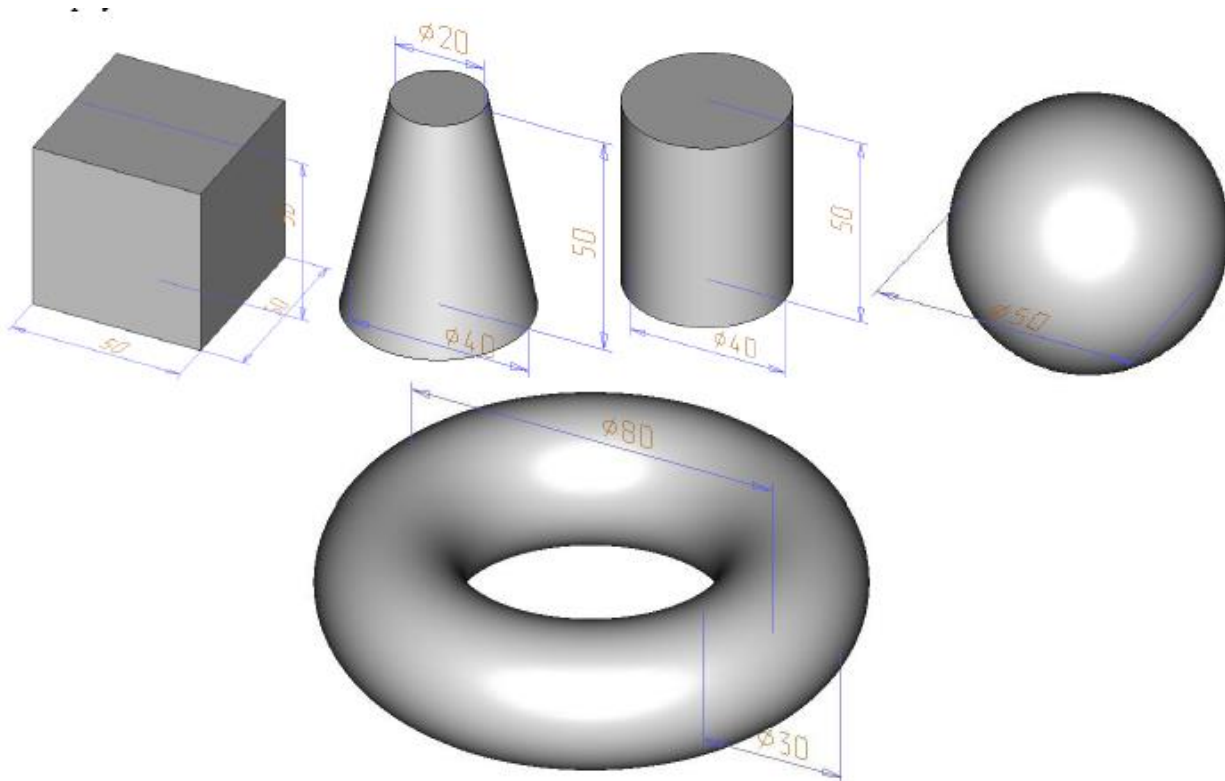


Рисунок 3.1 - Типові примітиви

### 3.2 Булеві операції

Якби в списку примітивів можна було знайти будь-яке об'ємне тіло, це було б чудово. Однак через різноманітність можливих застосувань систем геометричного моделювання зберегти заздалегідь всі мислимі форми неможливо. Набагато

простіше наблизитися до вирішення, надавши користувачу засоби для комбінування примітивів. В якості методу комбінування в твердотільному моделюванні застосовуються булеві операції теорії множин. Іншими словами, кожне примітивне об'ємне тіло вважається великою кількістю точок, до множин застосовуються булеві операції, а в результаті виходить об'ємне тіло, що складається з точок, отриманих після перетворень.

Більшістю систем твердотільного моделювання підтримуються наступні булеві операції: об'єднання, перетин і віднімання (рисунки 3.2, 3.3 і 3.4 відповідно). До застосування булевих операцій необхідно визначити відносне положення і орієнтацію примітивів. Булеві операції можуть застосовуватися не тільки до примітивів, хоча на рисунках як приклади зображені саме примітиви.

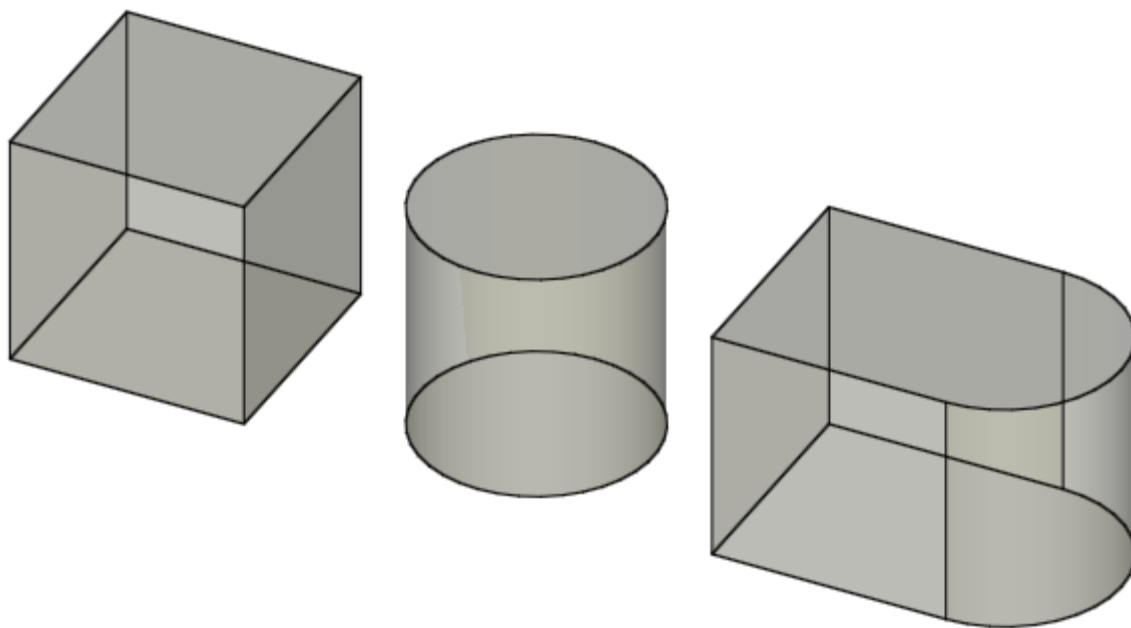


Рисунок 3.2 - Об'єднання примітивів

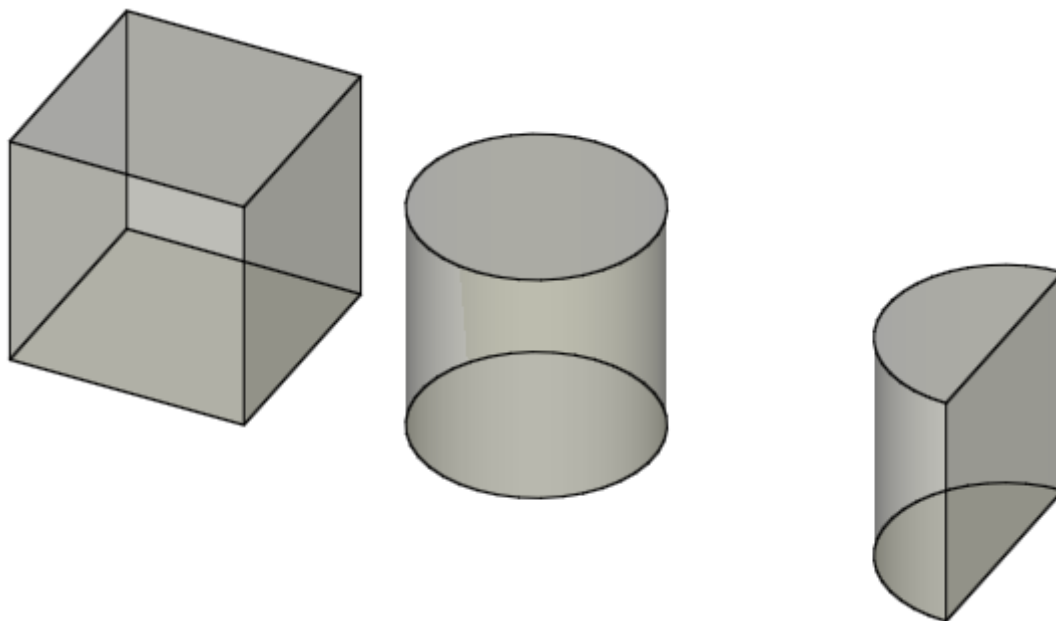


Рисунок 3.3 - Перетин примітивів

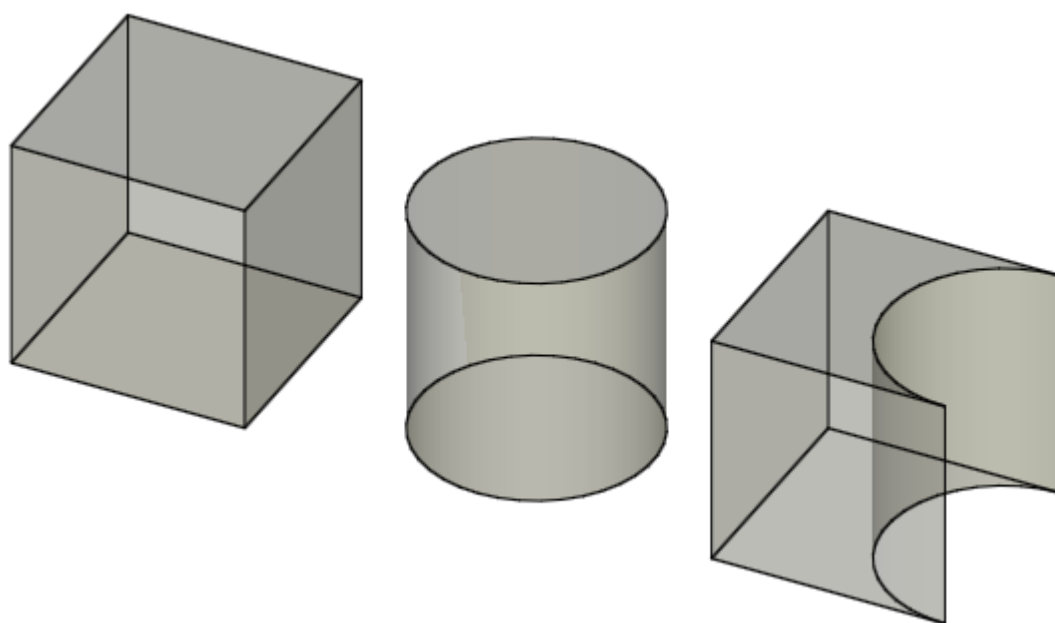


Рисунок 3.4 - Віднімання примітивів

Ще одна функція моделювання реалізується подібно булевим операціям, це функція розрізання об'ємного тіла площиною, після застосування якої трапляється тіло з двох частин. Того ж результату можна досягти, застосувавши операцію віднімання до об'ємного тіла, яке має бути розрізане, і кубу, однією з граней якого є січна площина. З цієї причини функція розрізання також може бути віднесена до булевих операцій.

При використанні булевих операцій слід бути уважним, щоб не отримати в результаті тіло, що не є об'ємним (рисунок 3.5). Деякі системи видають попередження про можливість отримання некоректного результату, інші можуть просто завершити роботу з повідомленням про помилку. Системи гібридного (небагатообразного) моделювання здатні обробляти і такі специфічні ситуації, оскільки вони працюють не тільки з об'ємними тілами, але і з поверхнями і каркасами.

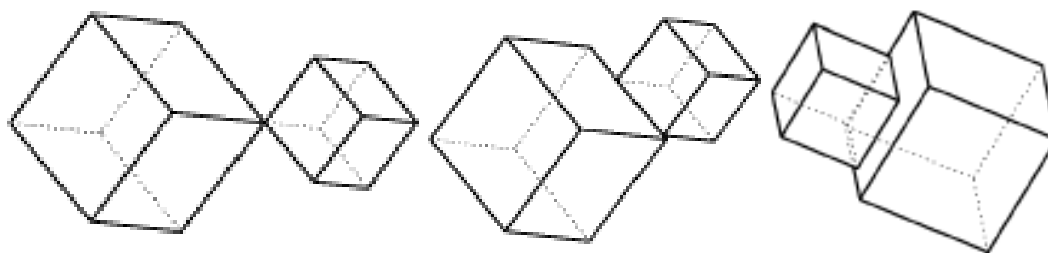


Рисунок 3.5 - Некоректна булева операція

### 3.3 Замітання

Функція замітання (*sweeping*) формує об'ємне тіло трансляцією або обертанням замкнутої плоскої фігури. У першому випадку процес формування називається замітання при трансляції (*translational sweeping*), у другому випадку - побудовою фігури обертання (*swinging, rotational sweeping*). Якщо плоска фігура буде незамкненою, в результаті замітання вийде не об'ємне тіло, а поверхня. Такий варіант замітання підтримується системами поверхневого моделювання.

Замітання при трансляції та обертанні представлено на рисунках 3.6 і 3.7 відповідно. Хоча рисунок 3.7 демонструє обертання на  $360^\circ$ , більшість систем твердотільного моделювання дозволяють повертати фігуру на довільний кут.

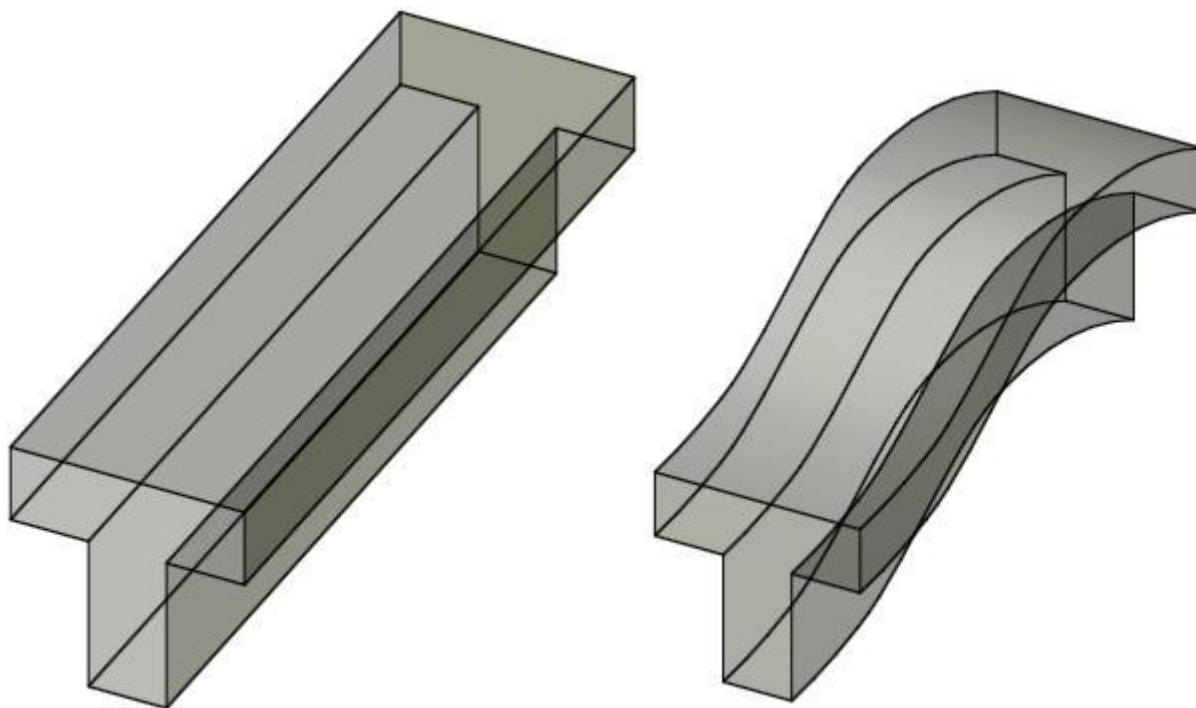


Рисунок 3.6 – Замітання при трансляції

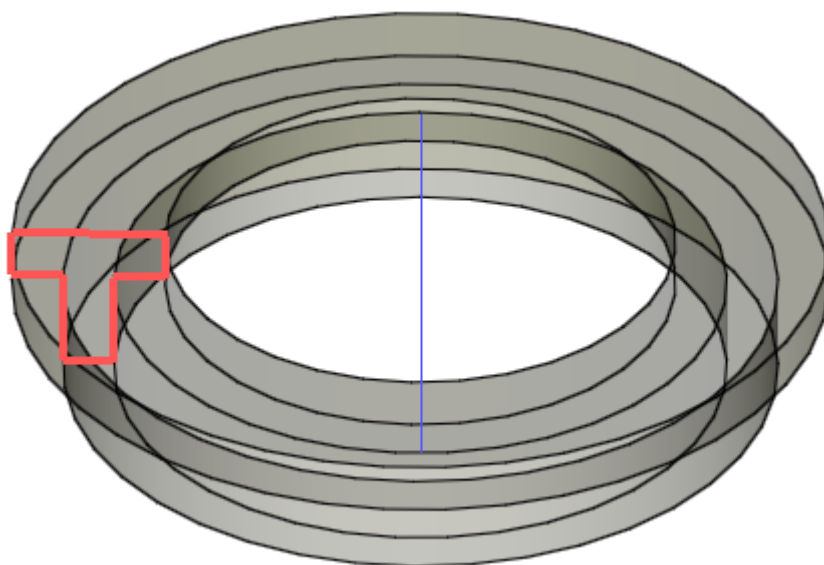


Рисунок 3.7 - Замітання при обертанні

### 3.4 Скіннінг

Функція скіннінга (*skinning*) формує замкнутий обсяг, натягуючи поверхню на задані плоскі поперечні перерізи тіла (рисунок 3.8). Можна уявити собі, що на каркас фігури, утворений межами поперечних перерізів, натягується тканина або

вініл. Якщо до натягнутої поверхні не додати кінцеві грані (два крайніх переріза), в результаті вийде поверхня, а не замкнутий обсяг. У такому варіанті функція скіннінга представлена в системах поверхневого моделювання.

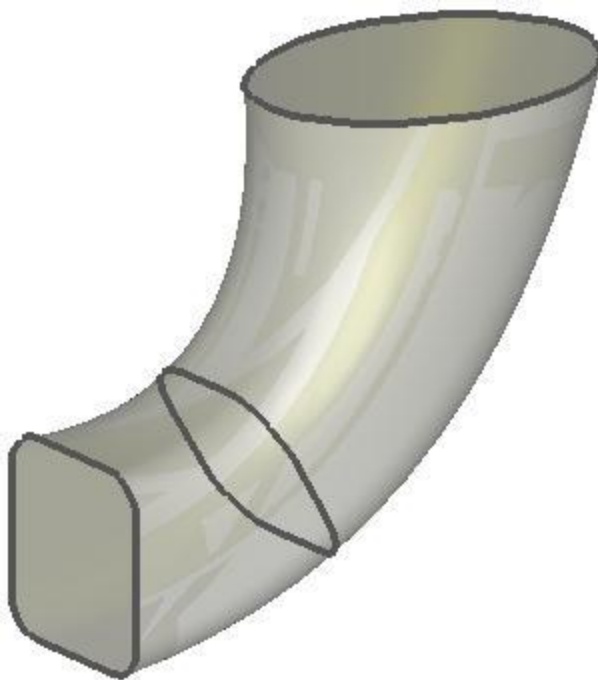


Рисунок 3.8 - Створення об'ємного тіла методом скіннінга

### 3.5 Скруглення або плавне сполучення

Скруглення (rounding), або плавне сполучення (blending), використовується для модифікування існуючої моделі, що складається в заміні гострого ребра або вершини гладкою криволінійною поверхнею, вектори нормалі до якої безперервно продовжують вектори нормалі поверхонь, які сходилися біля вихідного ребра або вершини. Заміну гострого прямого ребра циліндричною поверхнею демонструє малюнок 3.9а. Вектори нормалі до циліндричної поверхні тривають векторами сусідніх плоских граней. Заміна гострої вершини сферичною поверхнею показана на рисунку 3.10. Тут також забезпечується безперервність векторів нормалі. Окремий випадок заокруглення з додаванням, а не видаленням матеріалу показаний на рисунку 3.9б. Така процедура називається округкою (filleting).

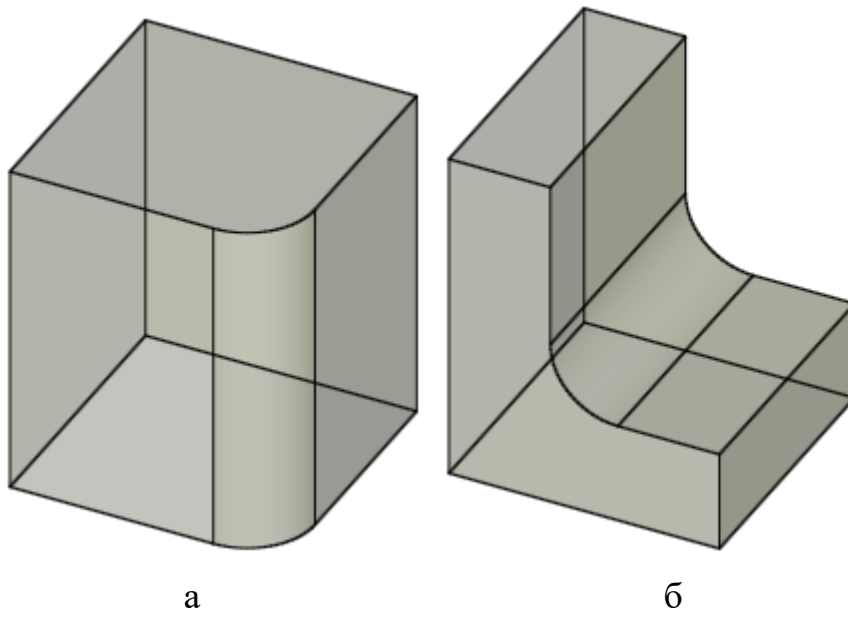


Рисунок 3.9 - Скруглення ребер

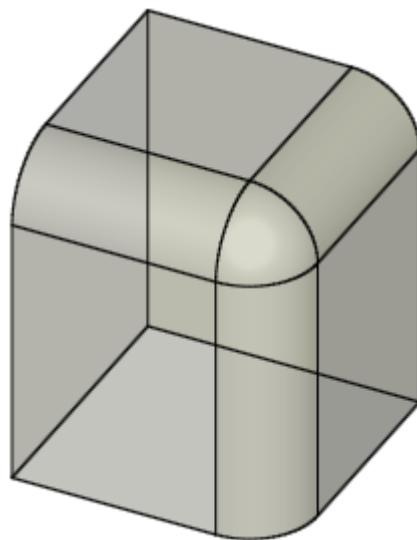


Рисунок 3.10 - Скруглення вершин

### 3.6 Підняття

Підняттям (*lifting*) називається переміщення всієї грані об'ємного тіла або її частини в заданому напрямку з одночасним подовженням тіла в цьому напрямку (рисунок 3.11а). Якщо потрібно підняти тільки частину грані (рисунок 3.11б), цю грань необхідно заздалегідь розділити.

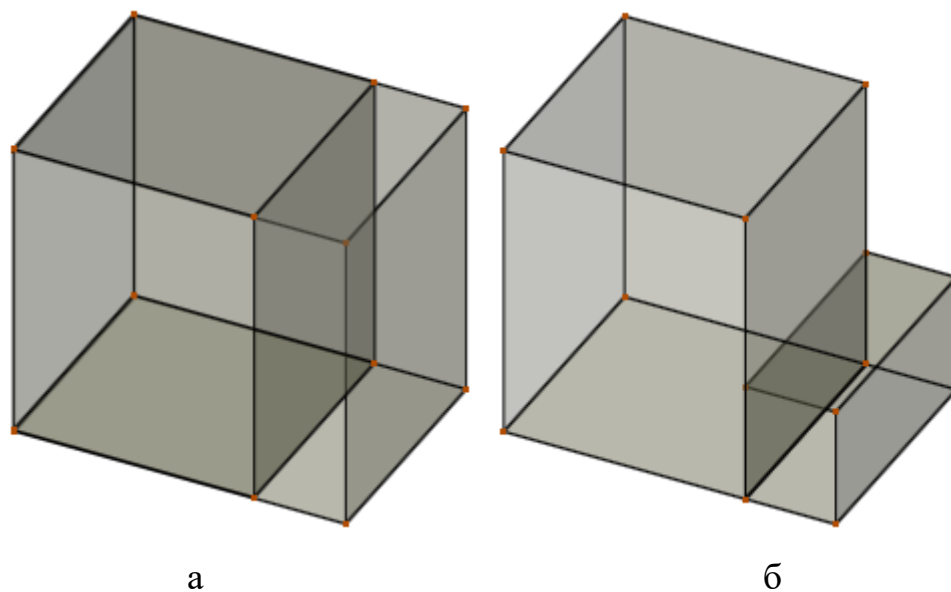


Рисунок 3.11 - Підняття грані і її частини

Для цього досить додати ребро, яке буде розбивати грань на потрібні частини. Але всередині системи при цьому будуть зроблені деякі додаткові дії, результатом яких стане розподіл грані. Зазвичай при цьому оновлюються відомості про зв'язності поверхні. Щоб додана частина тіла не перетиналася з вихідною (рисунок 3.12) при роботі з функцією підняття необхідно правильно вказувати напрямок і величину підняття. Перетин не викличе проблем, якщо функція підняття реалізована так, що при перетині виконується об'єднання доданої частини з вихідним тілом. Однак спочатку функція підняття розроблялася для невеликих місцевих змін, тому ситуація, показана на рисунку 3.12, дає некоректне об'ємне тіло.

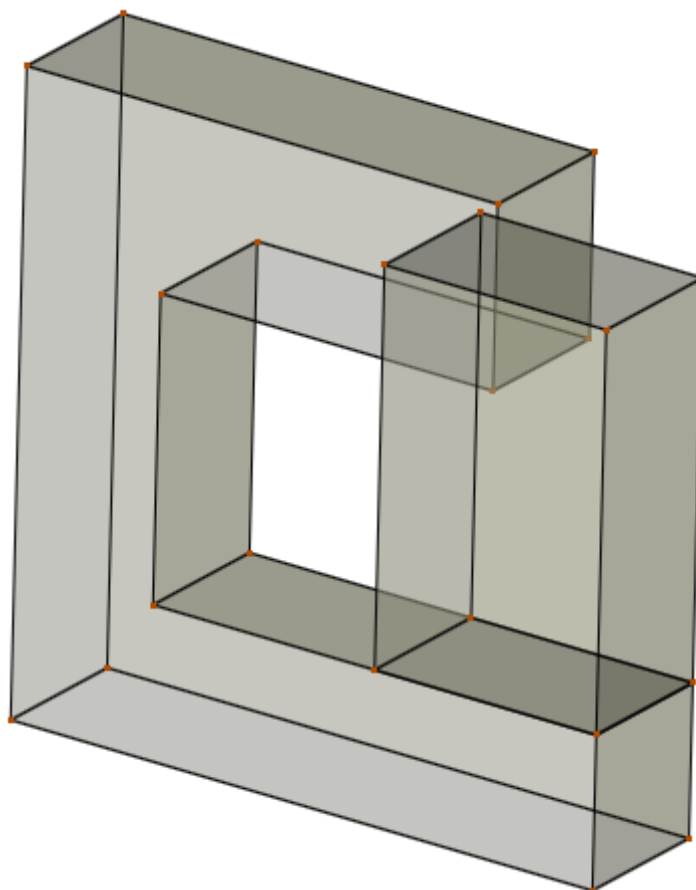


Рисунок 3.12 - Самоперетин в результаті підняття

### 3.7 Моделювання границь

Функції моделювання границь використовуються для додавання, видалення і зміни елементів об'ємного тіла - його вершин, ребер і граней. Отже, процедура, яка використовує функції моделювання границь, буде виглядати точно так само, як в системах поверхневого моделювання. Іншими словами, спочатку створюються точки, потім створюються ребра, що з'єднують ці точки, і нарешті, граничні ребра визначають поверхню. Однак в системах твердотілого моделювання, на відміну від систем поверхневого моделювання, потрібно визначити всі поверхні таким чином, щоб утворився замкнений об'єм. Створення клина за допомогою функцій моделювання границь ілюструє рисунок 3.13. Процедура включає створення точок, ребер, граней і поверхонь.

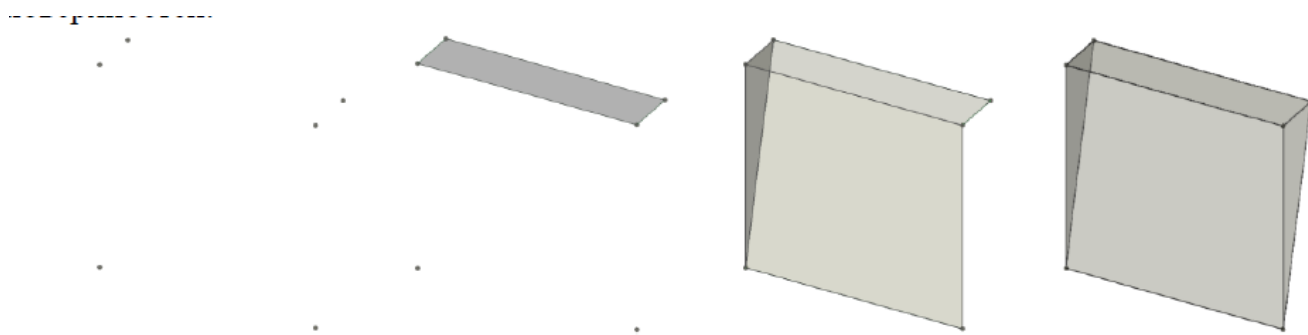


Рисунок 3.13 - Створення тіла за допомогою функцій моделювання границь

Створювати об'ємне тіло виключно за допомогою функцій моделювання границь дуже втомливо. Ці функції використовуються головним чином для створення плоских фігур, які потім служать перетинами об'ємним тілам, утвореним замітанням або скіннінгом. Однак функції моделювання границь зручно застосовувати для зміни форми вже існуючого тіла. Вершину можна пересунути в нове положення, змінивши відповідним чином сусідні ребра і грані (рисунок 3.14). Пряме ребро можна замінити криволінійним, в результаті чого зміняться пов'язані грані і вершини (рисунок 3.15). Плоску поверхню можна замінити на криволінійну з модифікацією ребер і вершин (рисунок 3.16). Іноді плоску поверхню можна замінювати криволінійною, імпортованою з системи поверхневого моделювання. Перераховані функції моделювання називаються функціями тонкого редагування (*tweaking functions*). Вони використовуються для моделювання тіл, обмежених криволінійними поверхнями, оскільки такі поверхні легко отримувати з плоских граней багатогранника.

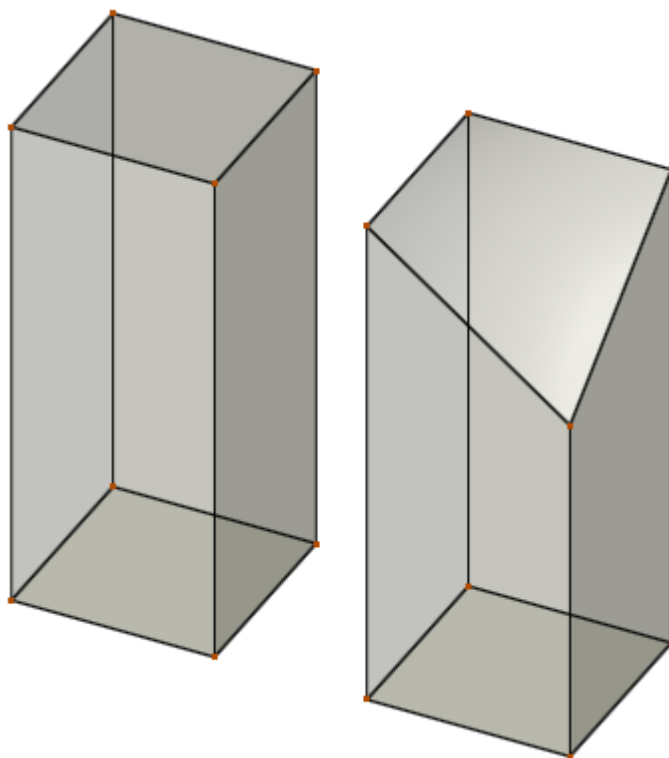


Рисунок 3.14 - Модифікація об'єкта переміщенням вершини

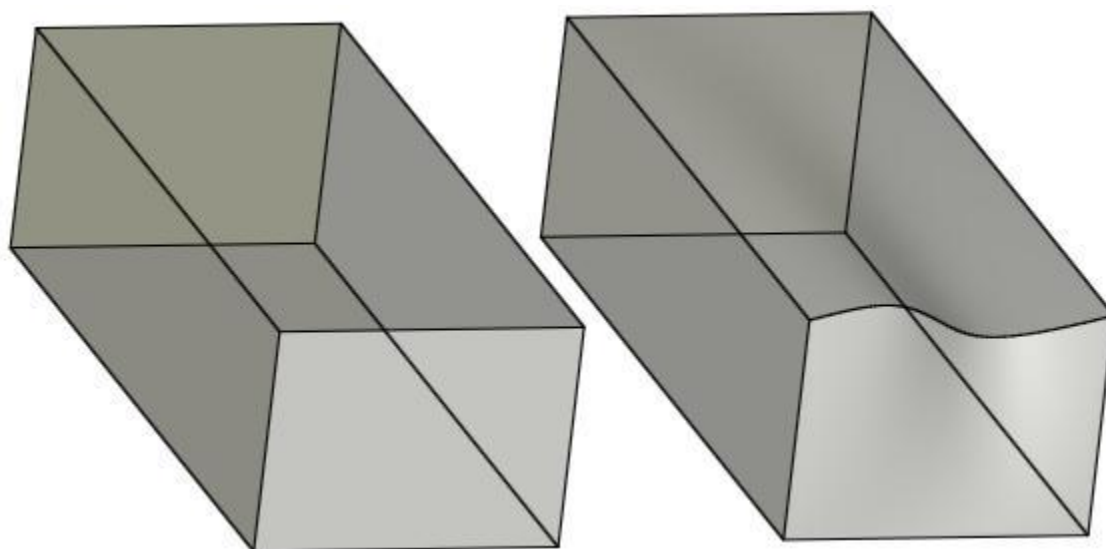


Рисунок 3.15 - Модифікація об'єкта заміною ребра

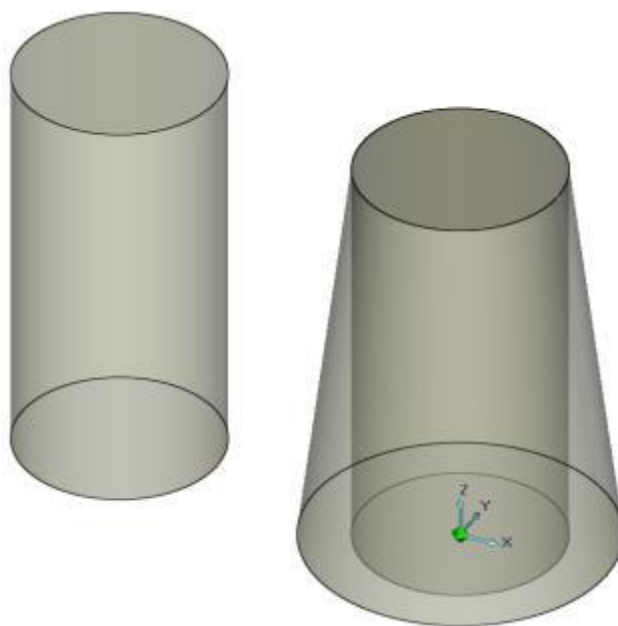


Рисунок 3.16 - Модифікація об'єкта заміною поверхні

### 3.8 Об'єктно-орієнтоване моделювання

*Об'єктно-орієнтоване моделювання (feature-based modeling)* дозволяє конструктору створювати об'ємні тіла, використовуючи звичні елементи форм (*features*). Створене тіло несе в собі інформацію про ці елементи на додаток до інформації про звичайні геометричні елементи (вершини, ребра, грані і ін.). Наприклад, конструктор може давати команди типу «зробити отвір такого-то розміру в такому-то місці» або «зробити фаску такого-то розміру в такому-то місці», і отримана фігура буде містити відомості про наявність в конкретному місці отвору (або фаски) конкретного розміру. Набір доступних в конкретній програмі елементів форми залежить від спектра застосування цієї програми.

Більшістю систем об'єктно-орієнтованого моделювання підтримуються такі елементи, які використовуються при виготовленні деталей: фаски, отвори, заокруглення, пази, виїмки і т. д. Такі елементи називаються виробничими, оскільки кожен з них може бути отриманий в результаті конкретного процесу виробництва. Наприклад, отвір створюється свердлінням, а виїмка - фрезеруванням. Отже, на підставі відомостей про наявність, розмір і розташування виробничих елементів можна спробувати автоматично сформувати план технологічного процесу. Авто-

матичне планування технологічного процесу, якщо воно буде розроблено на практичному рівні, перекине міст між CAD і CAM, які зараз існують окремо один від одного. Таким чином, в даний момент краще моделювати об'єкти, подібні зображеному на рисунку 3.17, з використанням команд об'єктно-орієнтованого моделювання «Паз» і «Отвір», а не просто булевих операцій. Модель, створена за допомогою таких команд, полегшить планування технологічного процесу, якщо не зробить його повністю автоматичним. Використання виробничих елементів в моделюванні ілюструє рисунок 3.18.

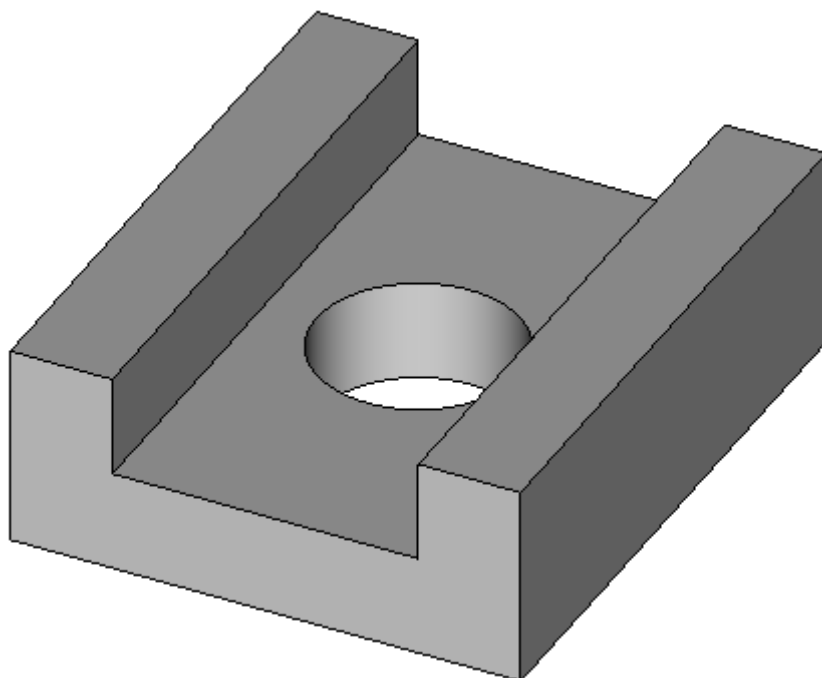


Рисунок 3.17 - Модель, створена командами "Паз" і "Отвір "

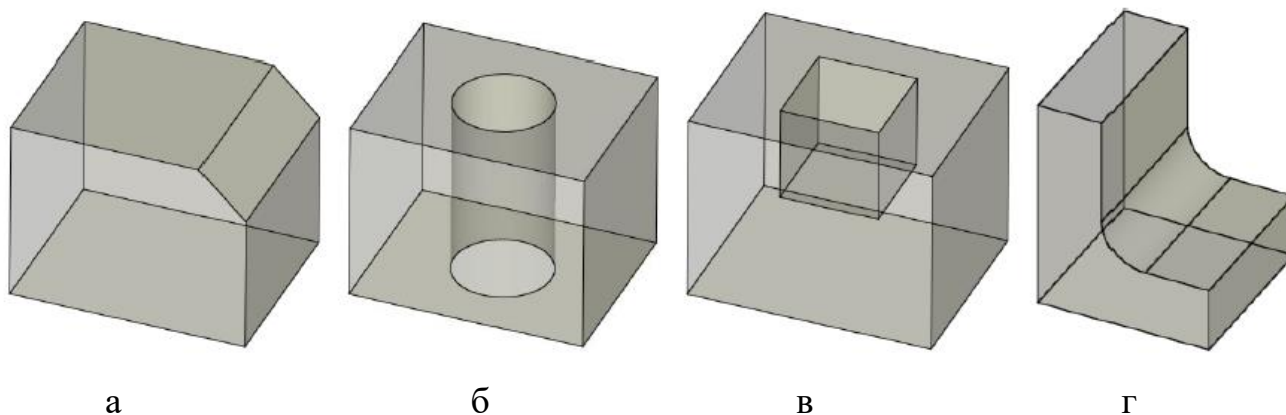


Рисунок 3.18 - Виробничі елементи:

а- фаска; б - отвір; в - колодязь; г - заокруглення

Один з недоліків об'єктно-орієнтованого моделювання полягає в тому, що система не може надати всі елементи, необхідні для всіх можливих застосувань. Для кожного завдання може знадобитися свій набір елементів. Щоб виключити цей недолік, більшість систем об'єктно-орієнтованого моделювання підтримують будь-яку мову, на якому користувач при необхідності може визначати свої власні елементи. Після визначення елемента необхідно задати параметри, що вказують його розмір. Елементи, як і примітиви, можуть бути різного розміру, а задаються розміри параметрами в момент створення елемента. Створення елементів різного розміру шляхом привласнення різних значень відповідних параметрів є різновидом параметричного моделювання.

### **3.9 Моделювання кривих ліній і поверхонь**

Всі непрямі і не ламані лінії називаються кривими. Криві лінії поділяються на два види:

- плоскі криві, тобто такі, всі точки яких розташовуються в одній площині;
- просторова криві (лінії двоякої кривизни), тобто такі, точки яких не належать одній площині.

Якщо закон переміщення точки може бути виражений аналітично у вигляді рівняння, то лінія, утвориться при цьому називається закономірною, в іншому випадку - незакономірною, або графічною. Закономірні криві лінії діляться на алгебраїчні, що визначаються алгебраїчними рівняннями (еліпс, парабола, гіпербола і ін.), І трансцендентні, що визначаються транс-цендентними рівняннями (синусоїда, циклоїда, спіраль Архімеда і ін.). Важливою характеристикою алгебраїчної кривої є її порядок (трансцендентні криві порядку не мають). З алгебраїчної точки зору порядок кривої лінії дорівнює ступеню її рівняння, з геометричною - найбільшому числу точок перетину кривої з прямою лінією для плоских кривих та з довільною площиною для просторових. У число точок перетину включаються як дійсні точки, так і ті, що співпали, також і уявні.

Пряма, яка перетинає криву лінію в одній, двох і більше точках, називається січною (пряма  $m$ ) (рисунок 3.19). Дотичній прямій  $t$  в даній точці  $A$  лінії  $l$  називається межа, до якого прагне січна ( $AB$ ), коли точка  $B$ , залишаючись на лінії  $l$ , прагне до точки  $A$ . Дотична до прямої лінії згідно з цим визначенням є сама пряма. Нормаллю до кривої  $l$  називається пряма  $n$ , перпендикулярна до  $l$  і проходить через точку дотику  $A$ .

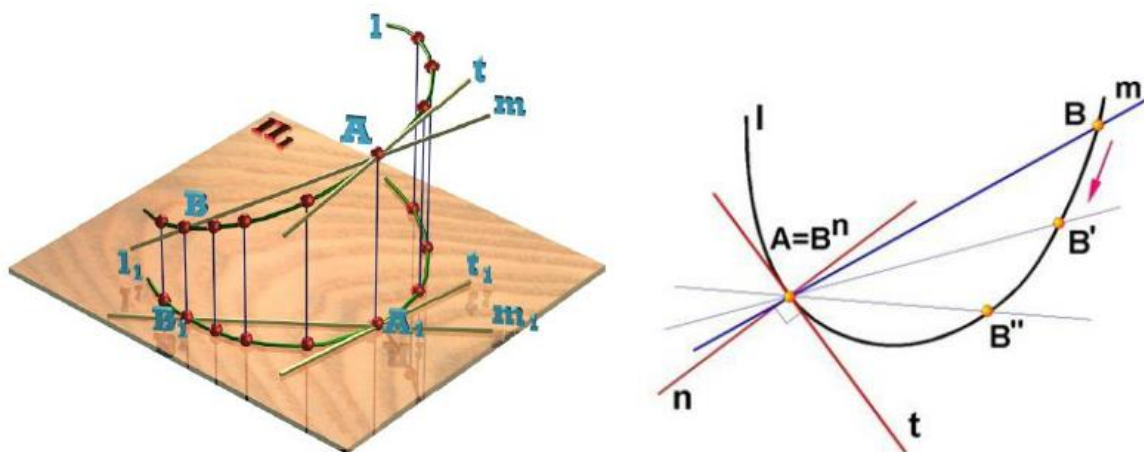


Рисунок 3.19 - Крива лінія

**Еліпс** - геометричне місце точок, сума відстаней яких до двох заданих точок (фокусів) - величина постійна, рівна 2 (довжині великої осі еліпса). Еліпс не має невласних точок.

**Парабола** - геометричне місце точок, рівновіддалених від даної точки  $F$  (фокуса) і даної прямої  $d$  (директриси). Парабола має одну невласну точку.

**Гіпербола** - геометричне місце точок, різниця відстаней яких до двох заданих точок (фокусів) - величина постійна, рівна 2 (відстані між вершинами гіперболи). Гіпербола має дві невласні точки, по одній на кожній асимптоті.

Криві другого порядку - еліпс, коло, парабола і гіпербола - можуть бути отримані при перетині конуса площиною і тому називаються **конічними перетинами**.

З закономірних просторових кривих найбільше практичне застосування знаходять гвинтові лінії, зокрема, циліндрична гвинтова лінія (рисунок 3.20).

Циліндрична гвинтова лінія являє собою просторову криву, яка описується точкою, що здійснює рівномірно-поступальний рух по твірній циліндра обертання, яка в свою чергу обертається навколо осі циліндра з постійною кутовою швидкістю. Величина  $P$ , на яку піднімається точка за один оборот твірної, називається кроком гвинтової лінії. Горизонтальна проекція гвинтової лінії є колом, а фронтальна - синусоїдою. На розгортці циліндричної поверхні гвинтова лінія зобразиться у вигляді прямої. Кут підйому гвинтової лінії дорівнює куту нахилу дотичної  $t$  в будь-якій точці гвинтової лінії до площини, перпендикулярної її осі.

Циліндрична гвинтова лінія, подібно прямій та колу, має властивість руху. Властивість руху полягає в тому, що кожен відрізок лінії може зрушуватися уздовж неї, не піддаючись деформації. Ця властивість гвинтових ліній лежить в основі роботи гвинтових пар (гвинт-гайка). Гвинтова лінія є геодезичною на циліндричній поверхні. Геодезичною називається лінія, що належить поверхні і найкоротша з усіх ліній, які можна провести між двома точками поверхні. Крім циліндричної гвинтової лінії, геодезичними лініями також є пряма на площині, окружність великого кола на сфері і ін. Геодезична лінія зображується на розгортці поверхні у вигляді прямої лінії.

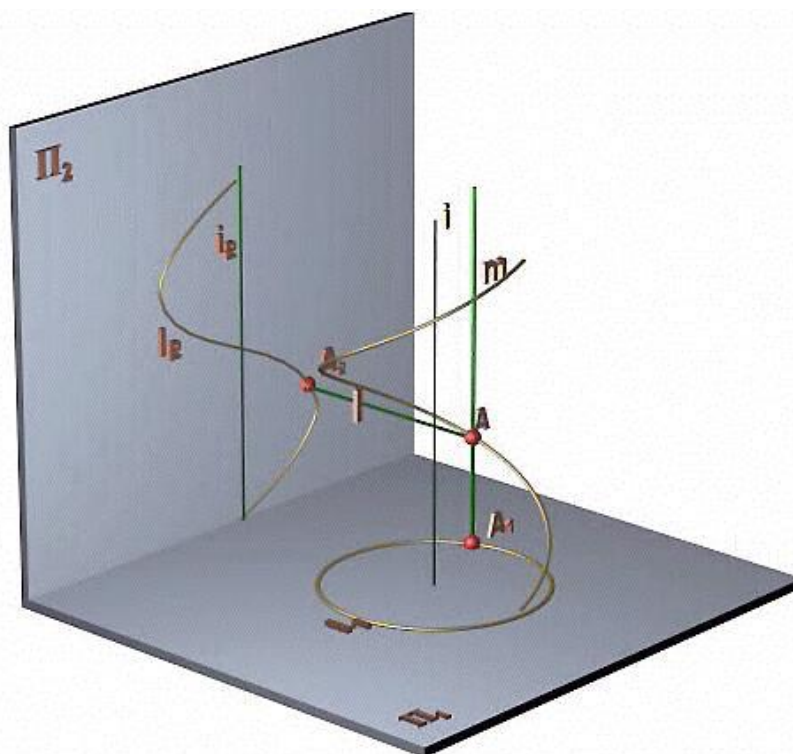


Рисунок 3.20 - Гвинтова лінія

Таким чином, при моделюванні кривих ліній і поверхонь вирішується наступне завдання: по заданому масиву точок на площині або в просторі будується крива, що проходить через всі ці точки (завдання інтерполяції) або проходить поблизу від цих точок (задача згладжування).

### Питання для самоконтролю

1. Перерахуйте основні групи функцій (5) моделювання твердого тіла.
2. У чому суть функцій створення примітивів і булевих операторів?
3. У чому суть функцій замітання, гойдання (обертання) і скінінга?
4. У чому суть функцій округлення (плавного сполучення) і підняття?
5. У чому суть функцій моделювання кордонів?
6. У чому суть функцій об'єктно-орієнтованого моделювання?
7. Які лінії називають кривими?
8. Перерахуйте криві, отримані перетином площиною поверхні конуса.

Умови їх утворення.

9. Як формується циліндрична гвинтова лінія?

## ТЕМА 4

### КЛАСИФІКАЦІЯ ПОВЕРХОНЬ. РОЗГОРТКИ

#### *Зміст теми:*

- 4.1 Багатогранники
- 4.2 Криві поверхні
- 4.3 Циліндричні поверхні обертання
- 4.4 Конічні поверхні обертання
- 4.5 Сфера
- 4.6 Торси

Поверхня являє собою безліч послідовних положень лінії, що переміщається в просторі. Цю лінію називають створюючою поверхні. Вона може бути прямою або кривою. Закон переміщення створюючої задається лініями - напрямними.

#### **4.1 Багатогранники**

Поверхня, утворена частинами попарно пересічних площин, називається багатогранною. Елементами багатогранних поверхонь є грані, ребра і вершини. Відсіки площин, що утворюють багатогранну поверхню, називаються гранями, лінії перетину суміжних граней - ребрами, точки перетину не менше ніж трьох граней - вершинами (рисунок 4.1).

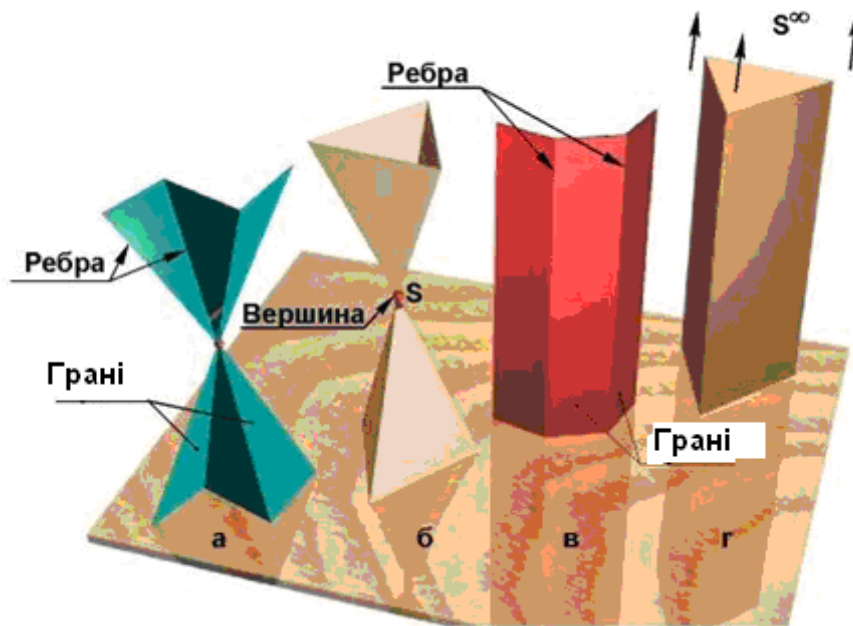
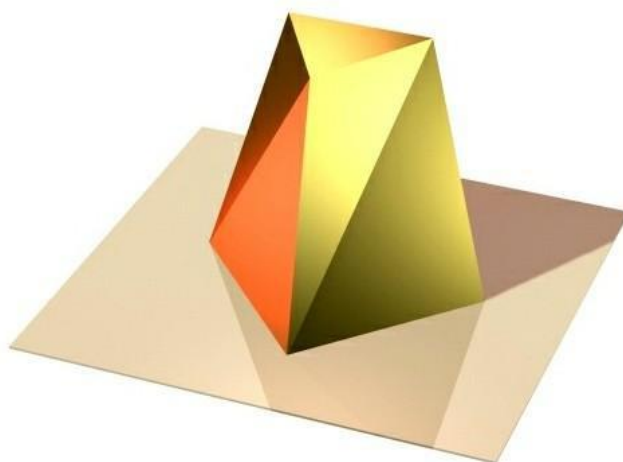


Рисунок 4.1 - Елементи багатогранних поверхонь

Якщо кожне ребро багатогранної поверхні належить одночасно двом її гранях, то її називають замкнутою (рисунок 4.1б, г), в іншому випадку - незамкненою (рисунок 4.1а, в). Багатогранна поверхня називається пірамідальною, якщо всі її ребра перетинаються в одній точці - вершині (див. рисунок 4.1а). Пірамідальна поверхня має дві необмежені підлоги. Багатогранна поверхня називається призматичною, якщо всі її ребра паралельні між собою (див. рисунок 4.1г).

Геометричне тіло, з усіх боків обмежене плоскими багатокутниками, називається багатогранником (рисунок 4.2). Найпростішими багатогранниками є піраміди і призми.



## Рисунок 4.2 - Багатогранник

Серед інших видів багатогранників слід виділити - призматоїд і правильні багатогранники (тіла Платона). Призматоїдом називається багатогранник, у якого верхня і нижня основи - багатокутники, розташовані в паралельних площинах, а бічні грані є трикутники або трапеції.

Існує п'ять правильних багатогранників:

- **тетраедр** (чотиригранник) - обмежений чотирма рівносторонніми і рівними трикутниками;
- **гексаедр** (чотиригранник, або куб) - обмежений шістьма рівними квадратами;
- **октаедр** (восьмигранник) - обмежений вісьмома рівносторонніми і рівними трикутниками;
- **додекаедр** (дванадцятигранник) - обмежений дванадцятьма рівносторонніми і рівними п'ятикутниками;
- **ікосаедр** (двадцятигранник) - обмежений двадцятьма рівносторонніми і рівними трикутниками.

Навколо всіх правильних багатогранників можна описати сферу. Сукупність усіх ребер і вершин багатогранника називається його сіткою.

## 4.2 Криві поверхні

Криві поверхні (рисунок 4.3) широко застосовуються в різних областях науки і техніки при створенні обрисів різних технічних форм або як об'єкти інженерних досліджень.

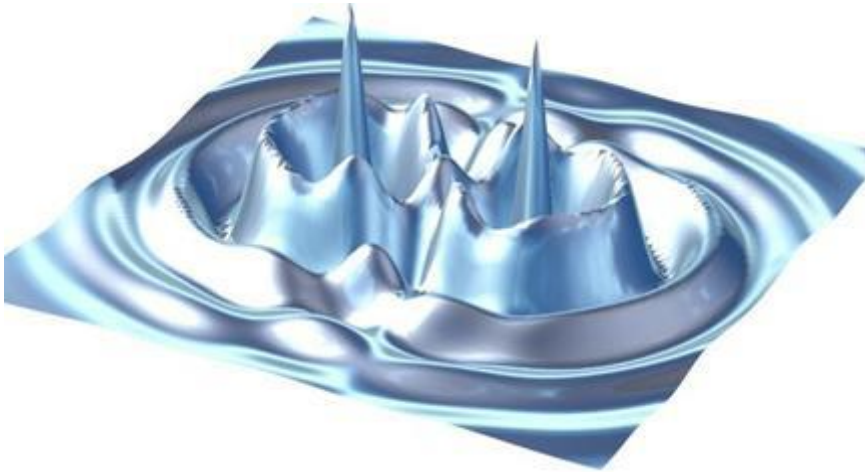


Рисунок 4.3 - Приклад складної поверхні

Існують три способи завдання кривих поверхонь:

-*аналітичний* - за допомогою рівнянь;

-*за допомогою каркаса*;

-*кінематичний* - переміщенням ліній в просторі.

Складанням рівнянь поверхонь займається аналітична геометрія; вона розглядає криву поверхню як безліч точок, координати яких задовольняють деякому рівнянню або системі алгебраїчних рівнянь.

При каркасному способі завдання крива поверхня задається сукупністю певної кількості ліній, що належать поверхні. В якості лінії, що утворюють каркас, як правило, беруть сімейство ліній, що виходять при перетині поверхні поруч паралельних площин.

При кінематичному способі створення і завдання кривих поверхонь кожна крива поверхня розглядається як сукупність послідовних положень створюючої лінії, що переміщається в просторі за певним законом. Створююча лінія при своєму русі може залишатися незмінною, а може і міняти свою форму. Закон переміщення створюючої лінії, як правило, задається за допомогою напрямних ліній і алгоритму переміщення створюючої по направляючих.

### 4.3 Циліндричні поверхні обертання

**Визначником** поверхні називають сукупність умов, необхідних і достатніх для задання поверхні в просторі. Визначник поверхні виявляється шляхом аналізу способів освіти поверхні або її основних властивостей. У загальному випадку поверхня може бути утворена декількома способами і тому може мати кілька визначників. Зазвичай з усіх способів утворення поверхні вибирають найпростіший. Визначник поверхні складається з двох частин:

-*геометричної частини* - сукупності геометричних фігур, за допомогою яких можна утворити поверхню;

-*алгоритмічної частини* - алгоритму формування поверхні за допомогою фігур, що входять в геометричну частину визначника.

Розглянемо приклади виявлення визначника для деяких найпростіших поверхонь (рисунок 4.4):

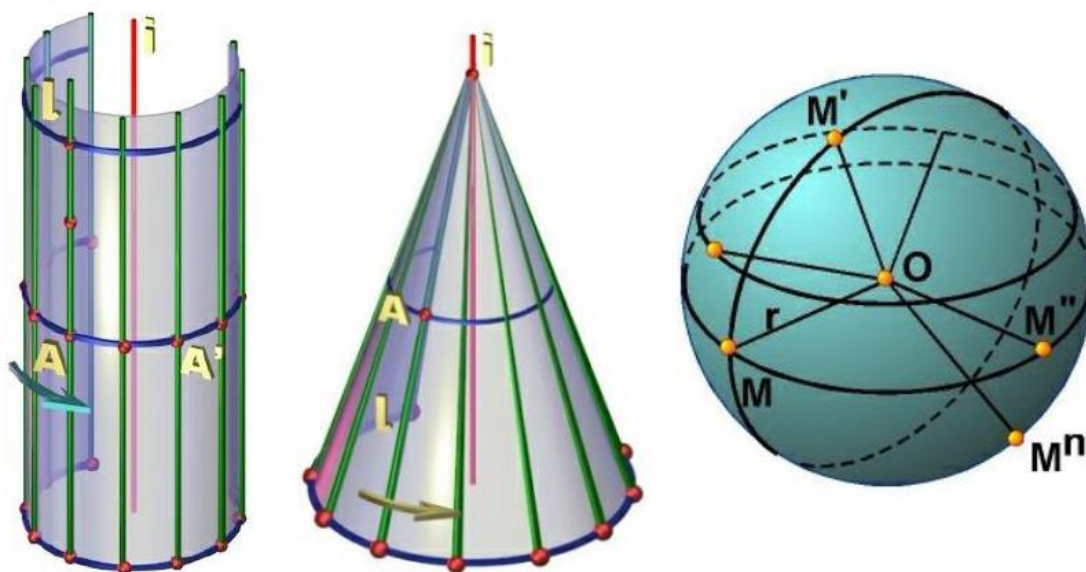


Рисунок 4.4 - Визначники циліндра, конуса і сфери

**Циліндрична поверхня обертання** може бути створена обертанням  $l$  навколо осі  $i$ . Геометрична частина визначника поверхні складається із створюючої  $l$  і осі  $i$ . Алгоритмічна частина визначника складається з операції обертання створюючої лінії  $l$  навколо осі  $i$ .

#### 4.4 Конічні поверхні обертання

*Конічна поверхня обертання* може бути утворена обертанням прямої  $l$ , яка перетинає вісь обертання  $i$  під деяким кутом. Алгоритмічна частина визначника складається з словесної вказівки про те, що поверхня утворюється обертанням створюючої  $l$  навколо осі  $i$ .

#### 4.5 Сфера

*Сферою* називається поверхня, утворена безліччю точок простору, які знаходяться на відстані  $r$  від даної точки  $O$ . Геометрична частина визначника сфери складається з точки  $O$  (центру сфери) і точки  $M$ , що належить її поверхні. Алгоритм побудови будь-якої точки сфери полягає в проведенні через точку  $O$  довільної прямої і відкладання на ній від точки  $O$  відрізка  $|OM'| = |OM| = r$ .

Криві поверхні поділяються на лінійчаті і нелінійчаті, закономірні і незакономірні.

Поверхня називається лінійчатою, якщо вона може бути утворена переміщенням прямої лінії, в іншому випадку вона називається нелінійчатою. Якщо поверхня може бути задана будь-яким рівнянням, вона називається закономірною, в іншому випадку - незакономірною, або графічною (задається тільки кресленням).

Закономірні поверхні, в залежності від виду рівняння, поділяються на алгебраїчні і трансцендентні. Рівняння алгебри  $n$ -го ступеня (в декартових координатах) задає алгебраїчну поверхню  $n$ -го порядку (трансцендентні поверхні порядку не мають). Алгебраїчна поверхня  $n$ -го порядку перетинається площиною по кривій  $n$ -го порядку, а з прямою лінією - в  $n$  точках. Плоскість, имеющую уравнение первой степени (с произвольной плоскостью пересекается по прямой линии, а с прямой - в одной точке), можно рассматривать как поверхность первого порядка.

Прикладами кривих поверхонь другого порядку можуть служити поверхні, утворені обертанням кривих другого порядку навколо однієї зі своїх осей. Поверхні другого порядку перетинаються з довільною площиною по кривим другого порядку, а з прямої - в двох точках. Прикладом поверхні четвертого порядку може служити тор.

Найбільше застосування в техніці отримали кінематичні криві поверхні з твірними постійної форми:

- лінійчаті поверхні: поверхні, що розгортаються, поверхні, що не розгортаються, гвинтові;

- поверхні обертання.

Поверхня називається лінійчатою, якщо вона може бути утворена переміщенням прямої лінії. Поверхня, яка не може бути утворена рухом прямої лінії, називається нелінійчатою. Наприклад, конус обертання - лінійчата поверхню, а сфера - нелінійчатою. Через будь-яку точку лінійчатої поверхні можна провести, принаймні, одну пряму, цілком приналежну поверхні. Безліч таких прямих являє собою безперервний каркас лінійчатої поверхні. Всі нелінійчаті поверхні є такими, що не розгортаються.

Поверхня називається такою, що розгортається, якщо вона шляхом згинання може бути поєднана з площиною без утворення складок і розривів. Очевидно, що всі багатогранні поверхні є такими, що розгортаються. З кривих поверхонь цими властивістями володіють тільки ті лінійчаті поверхні, які мають ребро повернення.

Існує тільки три види лінійчатих поверхонь, що мають ребро повернення: торси, конічні і циліндричні (рисунок 4.5).

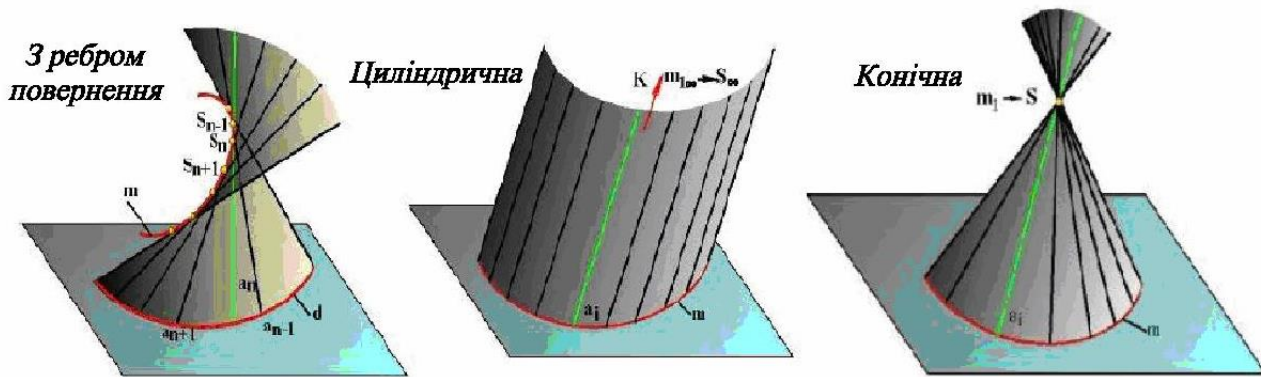
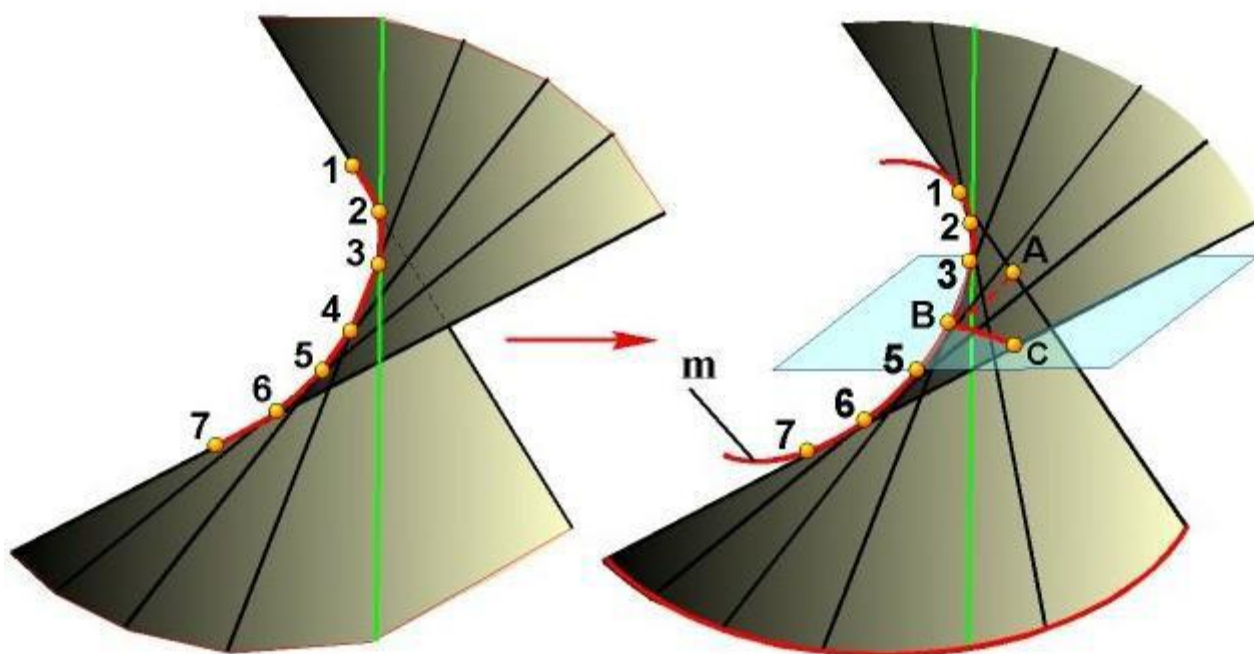


Рисунок 4.5 - Лінійчаті поверхні з ребром повернення

## 4.6 Торси

Візьмемо деяку просторову ламану лінію 1, 2, 3, 4, 5, 6, ... і продовжимо її сторони так, як показано на рисунку 4.6. В результаті отримаємо двухполу багатогранну поверхню, що розгортається. При необмеженому збільшенні числа сторін ламаної лінії з одночасним прагненням довжини кожної з них до нуля і перехід до межі отримаємо:

- просторова ламана лінія 1, 2, 3, 4, 5, 6, ... перетворюється в просторову криву лінію  $m$ ;
- ребра багатогранної поверхні перетворюються в дотичні до просторової кривої  $m$ ;
- багатогранна поверхня перетворюється в лінійчату двухполу криву поверхню, що розгортається, яка називається торсом.



а) Двухпола багатогранна поверхня

б) Торс

Рисунок 4.6 - Формування торса

Безліч всіх дотичних прямих до просторової кривої являє собою безпервний каркас поверхні торсу. Через кожну точку поверхні проходить одна дотична до кривої  $m$ . Таким чином, торс є поверхнею, яка утворюється безпервним рухом прямолінійної твірної, що торкається у всіх своїх положеннях деякої просторової кривої лінії. Напрямна просторова крива  $m$  служить межею між двома порожнинами поверхні торсу і називається ребром повернення. Якщо взяти на кривій  $m$  якусь точку  $B$  і провести через неї площину, що перетинає обидві порожнини поверхні, то отримана в перетині крива  $ABC$  матиме так звану точку повернення  $B$ . Отже, ребро повернення є безліччю точок повернення кривих ліній, отриманих при перетині даної поверхні різними площинами. Цим і пояснюється її назва..

Такою властивістю, що розгортається, володіє торс тому, що він є межею деякої багатогранної поверхні що розгортається. Геометрична частина визначника торса складається з ребра повернення. Алгоритмічна частина визначника торса складається з вказівки про те, що твірна пряма при своєму русі залишається дотичною до ребра повернення. Якщо ребро повернення виродиться у власну точку

простору, то створюючи торса, проходячи через неї, утворюють конічну поверхню довільного виду. Якщо ця точка (вироджене ребро повернення) буде невласною точкою простору, то створюючи торса, проходячи через неї, виявляться паралельними між собою і утворюють циліндричну поверхню загального виду. Таким чином, циліндрична і конічна поверхні мають таку властивість що розгортається, так як є окремими випадками поверхні торсу. Однак, щоб задати конічну або циліндричну поверхні, недостатньо мати тільки ребро повернення (власну або невласну точку) - положення створюючої прямої не визначається однією точкою. Необхідно задати ще направляючу лінію.

#### Питання для самоконтролю

1. Що собою представляє багатогранник? Дайте визначення багатогранника.
2. Перерахуйте способи (3) завдання кривих поверхонь. У чому їх особливості?
3. Що собою представляє визначник поверхні? З яких частин він складається?
4. Наведіть приклади утворення циліндричної і конічної поверхонь обертання.
5. Наведіть визначник побудови сфери.
6. Дайте визначення лінійчатої поверхні.
7. Наведіть приклад формоутворення торса.

## ТЕМА 5

### ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ГРАФІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В САД-СИСТЕМАХ

#### *Зміст теми:*

- 5.1 Машинна графіка й графічне моделювання в САПР
  - 5.1.1 Двовимірне й тривимірне проєктування в САПР
  - 5.1.2 Загальні поняття AutoCAD LT й аналогічних продуктів
  - 5.1.3 Машинобудівні додатки
- 5.2 Графічний редактор AutoCAD
  - 5.2.1 Типи моделей в AutoCAD
  - 5.2.2 Інтерфейс програми AutoCAD

#### **5.1 Машинна графіка й графічне моделювання в САПР**

##### **5.1.1 Двовимірне й тривимірне проєктування в САПР**

Перш ніж побудувати об'єкт, конструктор повинен наочно зобразити цей об'єкт, який ще не існує. Інакше кажучи, проєктно-конструкторський процес визначає майбутнє об'єкта.

Конструювання розділяють на два види діяльності: ескізне проєктування й конструкторська розробка.

При ескізному проєктуванні визначається принцип дії заданого об'єкта, вивчаються аналоги. На етапі конструювання розробляється повний комплект технічної документації (кресленик нового об'єкта). Технічна документація повинна бути достатня для виготовлення об'єкта, що конструюється.

При конструюванні нового об'єкта важливий і трудомісткий вид робіт – це розробка інженерно-графічної документації.

Здавна кресленики виконуються з використанням креслярських інструментів (лінійки, трикутника, циркуля) на планшеті (креслярській дошці). При цьому

точність виконання кресленика залежить від кваліфікації конструктора й гостроти його зору.

Застосування САПР дозволяє скоротити тривалість проектно-конструкторських робіт, тому що САПР має такі можливості:

- більш швидке виконання креслеників;
- підвищення точності виконання креслеників;
- підвищення якості виконання креслеників;

- можливість багаторазового використання креслеників. Зображення всього кресленика або його частини можна зберегти для подальшої роботи. Збережений кресленик може бути використаний для наступного проектування.

Розрізняють математичне забезпечення **двовимірного (2D)** і **тривимірного (3D)** моделювання.

Основні застосування 2D-графіки – підготовка креслярської документації в машинобудівних САПР, будівництві, топологічне проектування друкованих плат, автоматизоване проектування магістральних нафтопроводів і газопроводів і т.д.

**Тривимірні системи (3D)** використовуються для синтезу конструкцій у машинобудуванні й проектування будівельних споруджень. Ці системи дозволяють імітувати переміщення в просторі робочих органів виробу (наприклад, маніпуляторів робота). Вони дозволяють відслідковувати траєкторію руху інструмента при розробці технологічного процесу виготовлення деталей на верстатному устаткуванні різного типу.

**Двовимірні системи (2D).** Системи двовимірного моделювання розпізнають геометричні форми, обумовлені точками, прямими або кривими на площині. За допомогою двовимірних систем створюється більшість конструкторських документів.

Усі команди будь-якої двовимірної системи можна розділити на три види:

- команди креслення;
- команди редагування;
- команди нанесення розмірів, умовних позначок і тексту (оформлення кресленика).

### 5.1.2 Загальні поняття AutoCAD LT й аналогічних продуктів

Перші версії системи AutoCAD, розроблені американською фірмою Autodesk, з'явилися ще на початку 80-х років двадцятого століття й відразу ж залучили до себе увагу своїм оригінальним оформленням і зручністю для користувача. Постійний розвиток системи, обробка зауважень, інтеграція з новими продуктами інших провідних фірм (у першу чергу, Microsoft) зробили AutoCAD світовим лідером на ринку програмного забезпечення цього напрямку.

Широке поширення системи в Україні почалося з десятої версії, що працювала в операційній системі MS DOS. У такій же операційній системі могли працювати одинадцята, дванадцята й тринадцята версії, однак з'явилися й аналоги, які могли працювати в середовищі операційної системи Windows (Windows 3.1 або Windows 95). Чотирнадцята версія системи AutoCAD вийшла вже тільки в Windows-варіанті й була розрахована на операційні системи Windows 95 й Windows NT.

Всі вони пов'язані між собою єдиним форматом зберігання даних.

Перші версії AutoCAD містили в основному інструменти для простого двовимірного креслення, які поступово доповнювалися й розвивалися. У результаті система стала дуже зручним «електронним кульманом».

Система AutoCAD LT (розроблювач - фірма Autodesk) є полегшеною версією AutoCAD, що зберігає всі можливості двовимірної роботи й частину тривимірних операцій, але в той же час значно дешевше, ніж основна система AutoCAD.

Звичайно випускається англійською мовою й локалізується частково.

Для кожної версії AutoCAD розроблена відповідна версія AutoCAD LT.

Система AutoCAD LT може читати всі файли рисунків, створених в AutoCAD

До недорогих продуктів аналогічного призначення можна віднести також AutoSketch й Actrix Technical (Autodesk).

### 5.1.3 Машинобудівні додатки

Фірма Autodesk створила потужний пакет для машинобудівного проектування - Autodesk Mechanical Desktop, призначений для складного тривимірного моделювання. Пакет має наступні можливості, що прискорюють цикл розробки машинобудівних виробів і випуску необхідної документації:

- тривимірне параметричне моделювання твердих тіл і складних поверхонь,
- формування деталей, вузлів і конструкцій,
- випуск специфікацій і машинобудівних креслеників.

Спеціальні функції цього пакета дозволяють проектувати вали й пружини. Є бібліотека стандартних деталей різних типів і стандартів, у тому числі тих, що входять до ДЕРЖСТАНДАРТ.

Пакет AutoCAD Mechanical (Autodesk) орієнтований на оформлення машинобудівних креслеників. Він продається окремо, але входить до складу Autodesk Mechanical Desktop Power Pack.

Фірмою Autodesk створений також машинобудівний пакет Autodesk Inventor, що перевершує по своїх можливостях Autodesk Mechanical Desktop.

Фірма Consistent Software поставляє спеціалізовані пакети Mechanics,

Для проектування деталей з листових матеріалів призначена система Copra Sheet Metal Bender Desktop (Data-M Software Gmb).

Моделювання динаміки роботи механізмів може виконуватися в системі Dynamic Designer (Mechanical Dynamics).

## 5.2 Графічний редактор AutoCAD

AutoCAD являє собою систему, що дозволяє автоматизувати креслярсько-графічні роботи. У графічному пакеті AutoCAD є все, що необхідно конструкторові для створення кресленика.

Інструментам креслення в автоматизованому середовищі відповідають графічні примітиви (точка, відрізок, коло і ін.), команди їх редагування (стирання, перенос, копіювання й т.б.), команди установки властивостей примітива (завдання товщини, типу й кольору графічних об'єктів). Для вибору листа потрібного формату й масштабу кресленика в системі є команди настроювання кресленика.

Для нанесення розміру конструкторові необхідно задати місце його розташування на кресленіку. Розмірна й винесена лінії, а також стрілки й напису виконуються автоматично.

Відповідні команди AutoCAD дозволяють збільшувати зображення на екрані або зменшувати його при необхідності.

Система дозволяє зберігати графічні об'єкти під певними номерами й при необхідності вставляти їх у будь-який кресленик, що рятує конструктора від креслення частини повторюваних елементів кресленика.

Креслити в системі AutoCAD – значить формувати на екрані дисплея зображення з окремих графічних елементів (примітивів), які вводяться за допомогою відповідних команд графічного інтерфейсу.

Уведення команд і графічних елементів здійснюється за допомогою миші або клавіатури.

### 5.2.1 Типи моделей в AutoCAD

Система AutoCAD містить у собі досить широкий спектр засобів тривимірного моделювання. Вони дозволяють працювати як з найпростішими примітивами, так і зі складними поверхнями й твердими тілами. Базові типи просторових

моделей, що використовуються в AutoCAD, можна умовно розділити на три групи:

- каркасні моделі;
- моделі поверхонь;
- твердотільні моделі.

Каркасна модель - це сукупність відрізків і кривих, що визначають ребра фігури. У каркасному моделюванні використовуються тривимірні відрізки, сплайни й полілінії, які дозволяють загалом визначити конфігурацію виробу – побудувати його каркас. Даний вид роботи варто розглядати, головним чином, як етап допоміжних побудов для тривимірного проектування більше високого рівня.

Поверхнева модель - це сукупність поверхонь, що обмежують і визначають тривимірний об'єкт у просторі. Моделювання поверхонь застосовується для детального відпрацювання зовнішнього виду виробу. Створювані при цьому об'єкти характеризуються лише конфігурацією своєї поверхні й тому не придатні для рішення таких завдань, як визначення інерційно-масових характеристик виробу або одержання необхідних зображень для оформлення креслеників. Область застосування даного виду моделювання - дизайн, рішення завдань компоновання складних виробів і т.п..

Набір засобів моделювання поверхонь системи AutoCAD досить широкий і дозволяє створювати просторові об'єкти практично будь-якої форми. Є можливість створювати наступні основні типи поверхонь: лінійчаті поверхні, поверхні Кунса, поверхні Безье.

Твердотільне моделювання є основним видом тривимірного проектування виробів машинобудування. Створювані в ході такого моделювання тіла сприймаються системою як якісь єдині об'єкти, що мають певний обсяг. Твердотільне моделювання дозволяє не тільки ефективно вирішувати такі завдання, але й визначати інерційно-масові характеристики, а також одержувати із просторового об'єкта необхідні види, розрізи й перетини для оформлення робочої документації. Твердотільні моделі можуть піддаватися різним розрахункам, у тому числі методом кінцевих елементів.

Засоби твердотільного моделювання системи AutoCAD не дозволяють здійснювати параметричне моделювання. Тому можливості цієї системи в даній області суттєво менші ніж можливості таких систем як Autodesk Mechanical Desktop, Inventor або Solid Works. Проте AutoCAD цілком дозволяє створювати твердотільні моделі деталей і вузлів, конфігурація яких являє собою набір найпростіших форм. Серйозні складнощі виникають лише при моделюванні виробів складної неправильної форми, наприклад литих деталей.

Крім засобів створення просторових об'єктів, блок тривимірного моделювання системи AutoCAD містить у собі засоби перегляду об'ємного зображення, візуалізації й засоби редагування тривимірних об'єктів.

### **5.2.2 Інтерфейс програми AutoCAD**

Користувальницький графічний інтерфейс сучасних версій системи AutoCAD повністю відповідає стандартам, застосовуваним у додатках Windows. Взаємодія із програмою AutoCAD забезпечується командами, що вводяться із клавіатури або обираються з різних меню й панелей інструментів.

Для полегшення процесу випуску проектної документації можна розробляти «бібліотеки стандартних елементів». Стандартними елементами можуть виступати як цілі файли, так й їхні окремі частини. Ця ідея стала гарним стимулом для створення на базі системи AutoCAD локальних робітничих місць за різними конструкторськими, архітектурними й іншими напрямками, а також для розробки нових спеціалізованих систем. Потужним доповненням до цього є можливість використання мов програмування.

Починаючи з AutoCAD 2002, у систему включені спеціальні засоби для контролювання стандартів підприємств, що дозволяють управляти шарами, стилями й т.п. Уже десята версія AutoCAD дозволяла виконати досить складні тривимірні побудови в будь-якій площині простору й відобразити їх на різних видових екранах з різних точок зору. Тому вона стала також інструментом й тривимірного моделювання.

Механізм простору Листа й видових екранів дав можливість розробляти кресленики із проєкціями тривимірних об'єктів або споруджень. У системі AutoCAD по одній моделі можна одержати кілька листів креслярського документа.

Система AutoCAD стала середовищем для розробки великої кількості спеціалізованих програмних комплексів для багатьох галузей. У числі розроблювачів таких пакетів, що використовують різні версії системи AutoCAD, у тому числі й AutoCAD як графічне середовище, можна назвати саму фірму Autodesk (США), а також фірми: Consistent Software (Норвегія), Інтермех (Білорусія), ANSYS (США) і ін.

#### Питання для самоконтролю.

1. За рахунок чого при застосуванні САПР скорочується тривалість проєктно-конструкторських робіт?
2. Основні застосування 2D-графіки?
3. Основні застосування 3D-графіки?
4. Що собою представляють графічні редактори системи AutoCAD?
5. З яких компонентів складається програмний пакет AutoCAD?
6. Які завдання можуть бути вирішені за допомогою графічного редактора?
7. Які типи моделей в в 3D-графіці ви знаєте?
8. Які аналогічні продукти AutoCAD ви знаєте?
9. Які машинобудівні додатки ви знаєте?

## ТЕМА 6

### ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

#### *Зміст теми:*

- 6.1 Типи тривимірних моделей
  - 6.1.1 Каркасні моделі
  - 6.1.2 Поверхневі моделі
  - 6.1.3 Твердотілі моделі
- 6.2 Методи задання тривимірних координат
  - 6.2.1 Декартові (прямокутні) координати
  - 6.2.2 Циліндричні та сферичні координати
- 6.3 Задання положення точок в 3D-просторі
  - 6.3.1 Координатні фільтри
  - 6.3.2 Світова система координат (ССК) та система координат користувача(ССК)
- 6.4 Середовище для просторових побудов
  - 6.4.1 Простір Моделі
  - 6.4.2 Простір Листа
- 6.5 Розфарбовування 3D об'єктів

#### **6.1 Типи тривимірних моделей**

##### **6.1.1 Каркасні моделі**

Каркасні моделі створюються з точок, відрізків і кривих, що описують ребра об'єкта, та не мають граней. Тобто така модель є скелетним описом тривимірного об'єкта. Такі моделі лише за виглядом нагадують 3D об'єкти, вони не приймають участі в тонуванні і розмалюванні (так як вони не мають граней) та не перекривають один одного при розташуванні їх по глибині.

### **6.1.2 Поверхневі моделі**

Поверхневі моделі описуються ребрами й гранями тривимірного об'єкта, тобто обмежуються поверхнями. Використання поверхонь дозволяє створювати найбільш складні тривимірні об'єкти. На відміну від каркасних моделей поверхневі об'єкти більш реально подають модель у просторі, так як можуть закривати об'єкти на задньому плані та давати тінь при тонуванні. Однак вони не мають фізичних властивостей: маси, центра тяжіння та ін.

### **6.1.3 Твердотілі моделі**

Твердотіла модель (або тіло) є зображення тривимірного об'єкта, яке зберігає інформацію не лише про ребра та грані, а й інформацію про його об'ємні властивості.

Кожен тип моделей має свої переваги та недоліки. Для моделей кожного типу є свої технології створення й редагування.

Оскільки різним типам моделей притаманні власні методи створення, не рекомендується змішувати декілька типів в одному кресленику.

## **6.2 Методи задання тривимірних координат**

При створенні тривимірних об'єктів використовуються аналоги двовимірних координат. Але розробка тривимірних об'єктів в AutoCAD, на відміну від кресленика на площині, має на увазі задання третьої координати, яка визначає об'єм виробу.

Як при виконанні кресленика на площині, при тривимірному моделюванні можливо вводити координати точок, використовуючи водночас різні системи координат.

В тривимірному просторі використовуються як абсолютні координати (які відраховуються від початку системи координат), так й відносні (які відраховують-

ся від останньої вказаної точки). Ознака відносних координат – символ @ перед координатами точки, яка задається.

### 6.2.1 Декартові (прямокутні) координати

При задані координат в цій системі спочатку визначають координату X, потім Y і останньою координату Z.

Абсолютні декартові координати в тривимірному просторі задаються у форматі X,Y,Z. Відносні координати мають формат @X,Y,Z.

Поточний рівень координати Z пов'язаний з площиною XY поточної системи координат. За допомогою команди «УРОВЕНЬ (ELEV)» можливо встановити необхідне значення рівня й висоти тривимірних об'єктів. За замовчуванням рівень дорівнює нулю.

Якщо визначити рівень відмінний від нуля, то таким чином буде визначена площина, для якої будуть задані всі координати Z, якщо ця координата не задається в явному виді.

Тривимірні декартові координати указують на точне розташування за допомогою трьох координат: X, Y і Z.

Тривимірні декартові координати (X,Y,Z) задаються аналогічно двомірним (X,Y) координатам. До двох складових по осях X і Y додається третя по осі Z. Таким чином, 3D координати вводяться у форматі: X,Y,Z

Координати 3,2,5 визначають точку в такому місцеположенні: 3 одиниці уздовж позитивного напрямку осі X, 2 одиниці уздовж позитивного напрямку осі Y і 5 одиниць уздовж позитивного напрямку осі Z (Рисунок 6.1).

Якщо координати вводяться у форматі X,Y, значення Z копіюється з останньої введеної точки. В результаті можна ввести точку у форматі X,Y,Z, а надалі використовувати формат X,Y зі значенням Z, яке залишається постійним.

Наприклад, для побудови відрізка можна ввести такі координати:

- від точки: 0,0,5;
- до точки: 3,4.

Обидві кінцеві точки відрізка матимуть однакове значення координати  $Z$ , рівне 5 одиницям. Коли користувач починає або відкриває будь-який кресленик, початкове значення за умовчанням координати  $Z$  рівне 0.

Як і у разі 2D координат, можна вводити як **абсолютні** координати (що відлічуються від початку координат), так і **відносні** (що відлічуються від останньої вказаної точки). Для введення координат у відносній формі використовується знак @, розміщений перед числовими значеннями координат.

Наприклад, для введення точки, зміщеної від попередньої точки на одну одиницю по осі  $X$ , слід ввести @1,0,0.

Для введення абсолютних координат ніяких передуючих знаків не вимагається.

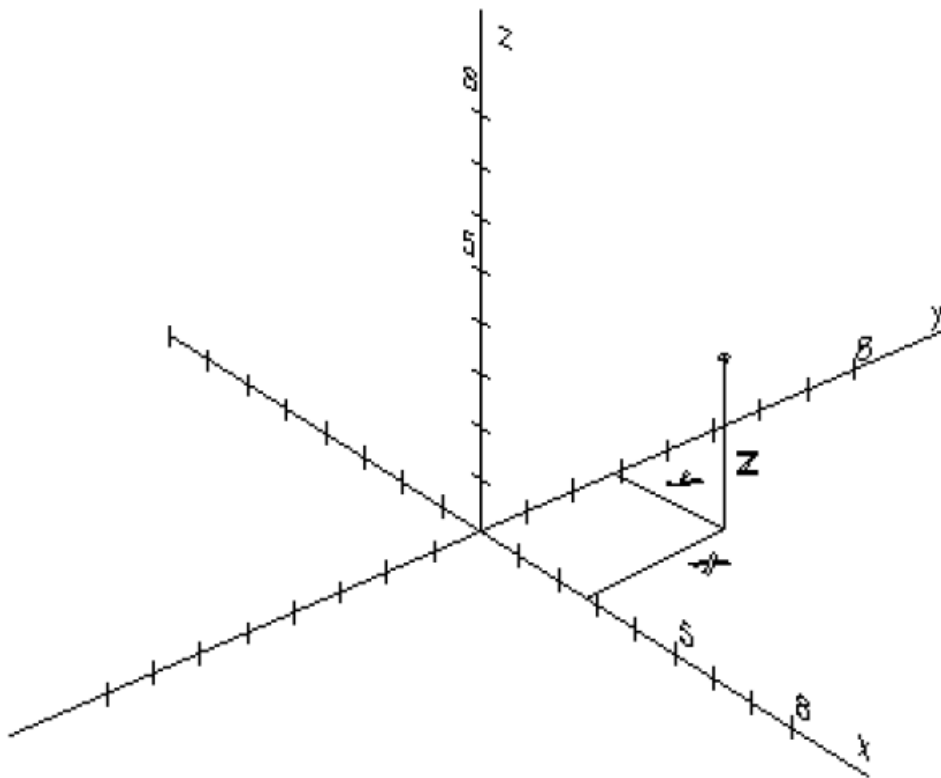


Рисунок 6.1 – Визначення місцеположення точки в декартових координатах

### 6.2.2 Циліндричні та сферичні координати

При роботі у 3D просторі використовуються два нових типа координат – циліндричні та сферичні, які є аналогами полярних координат на площині.

3D циліндричні координати описують точне місцеположення точки на відстані  $\rho$  від початку системи координат у площині XY, куту  $\varphi$  від осі X у площині XY і значення  $Z$  (Рисунок 6.2).

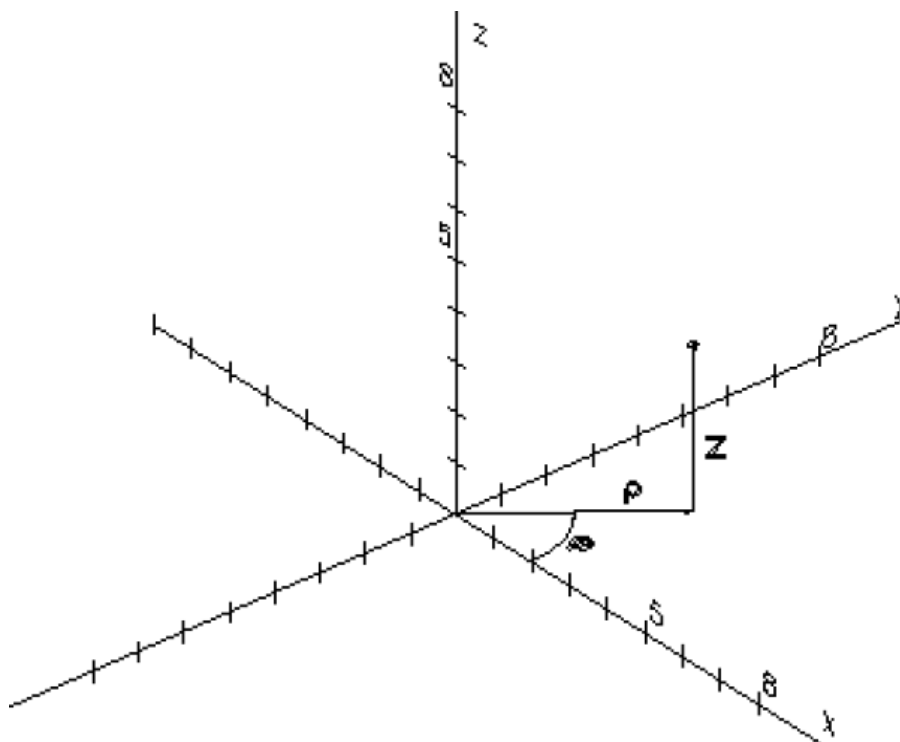


Рисунок 6.2 – Визначення місцеположення точки в циліндричних координатах

Введення циліндричних координат аналогічно завданню полярних координат для 2D простору. Додатково додається значення відстані від вказаної полярної координати до необхідної точки простору перпендикулярно площині XY. Циліндрові координати точки вказуються у форматі:

$$\rho < \varphi, Z$$

Координатами  $5 < 60, 6$  визначається точка, що лежить на відстані 5 одиниць від початку системи координат, під кутом  $60^\circ$  від осі X у площині XY і 6 одиниць по осі Z. Координатами  $8 < 30, 1$  визначається точка, що лежить на відстані 8 одиниць від початку системи координат у площині XY, під кутом  $30^\circ$  від осі X в площині XY і на відстані 1 одиниці по осі Z. Для завдання координат щодо попередньої точки можна використовувати відносні циліндричні координати, передуючи числовим значенням знаком @.

Введення сферичних координат у 3D просторі подібне введенню полярних координат у двовимірному просторі. Положення точки визначається її відстанню  $\rho$  від початку координат поточної системи координат, кутом  $\varphi$  від осі X у площині XY і кутом  $\psi$  до площини XY (Рисунок 6.3).

$$\rho < \varphi < \psi$$

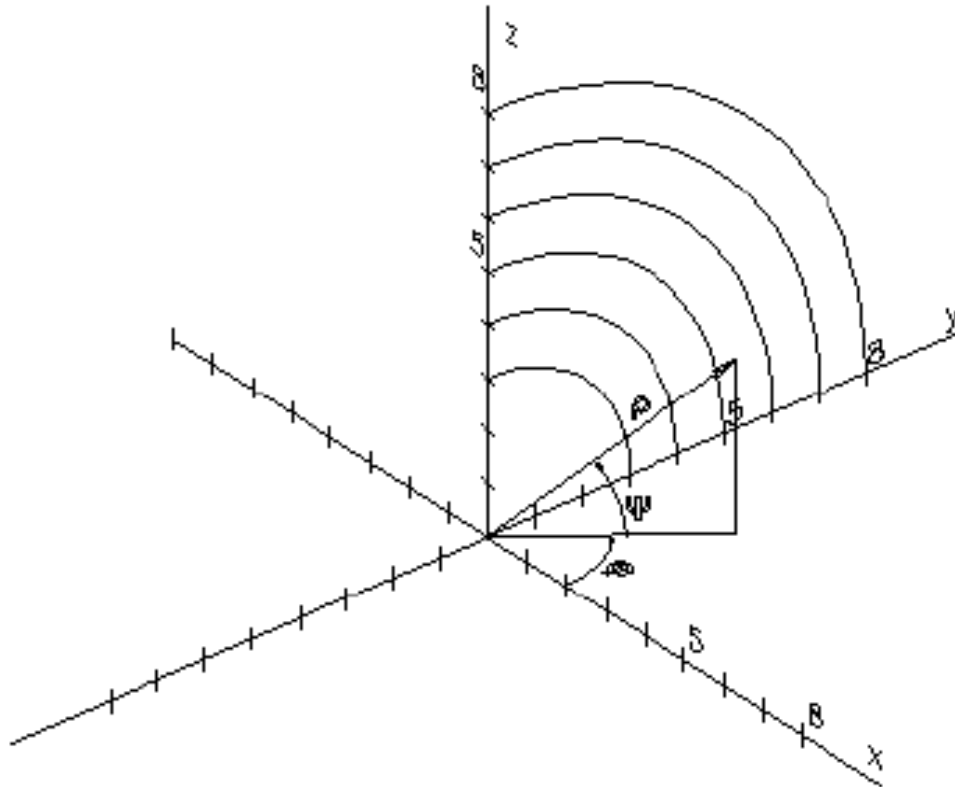


Рисунок 6.3 – Визначення місцеположення точки в сферичних координатах

Координатами  $8<60<30$  визначається точка, що лежить на відстані 8 одиниць від початку системи координат у площині XY, під кутом  $60^\circ$  від осі X у площині XY і під кутом  $30^\circ$  від площини XY.

Координатами  $5<45<15$  визначається точка, що лежить на відстані 5 одиниць від початку координат, під кутом  $45^\circ$  від осі X у площині XY і під кутом  $15^\circ$  до цієї площини.

Для завдання координат щодо попередньої точки можна використовувати відносні сферичні координати, передуючи числовим значенням знаком @.

## 6.3 Задання положення точок в 3D-просторі

### 6.3.1 Координатні фільтри

Координатні фільтри дозволяють задати координати нової точки по координатам точок, які вже існують. Зазвичай фільтри використовують з об'єктними прив'язками.

Фільтри використовують під час виконання команди, коли йде запит на координати нової точки. Координати нової точки обираються, як одна або дві координати вже побудованої точки, а потім задають координати, яких не вистачає.

Для зазначення фільтра в командному рядку використовують формат *.координата*,

де координата – один з символів X, Y,Z, або їх поєднання.

Існує набір з шести фільтрів: .X, .Y, .Z, .XY, .XZ, .YZ.

### 6.3.2 Світова система координат (ССК) та система координат користувача(СКК);

У AutoCAD існує поняття **світова система координат (ССК)**. Це умовна система координат, яка прийнята в якості початкової системи відрахунку.

При тривимірних побудовах ССК – це система координат, у якої площина XY має горизонтальне розташування, а за початок координат обирається точка, яка зручна для розрахунків та задання координат.

Працювати в ССК не завжди зручно, оскільки в процесі побудови вона може бути неоптимальною. При виконанні кресленика для кожної проєкції зручно обрати свою систему координат з початком в характерній точці проєкції.

Системи координат, які створюються користувачем під час креслення мають назву **системи координат користувача**. Прийняте скорочення - **СКК**.

Створення СКК виконується командою **UCS**, яка має багато опцій.

В деякий момент часу активна тільки одна система координат, яку звать поточною. Поточна система координат визначається по піктограмі її осей. Ознакою світової системи координат є прямокутник в початку координат та літера **W**.

Змінювати ССК не дозволяється.

У кожний проміжок часу можливий перехід від однієї системи координат до іншої.

У тривимірних побудовах система координат задає площину кресленика, відносно якої створюються об'єкти, виконуються команди редагування, визначаються координати.

Просторові побудови пов'язані з постійним перевизначенням площини побудови. Це може бути паралельне переміщення площини та початку координат у нову точку простору, поворот площини побудов відносно просторової осі, визначення площини за трьома точками.

Керувати СКК зручно за допомогою **ПСК**. Назву системі координат користувача дають тоді, коли створена СКК, з якою неодноразово прийдеться працювати не збігається зі стандартною.

AutoCAD має шість стандартних ортогональних СКК: верхня, нижня, передня, задня, ліва та права. За замовчуванням параметри ортогональних СКК розраховуються відносно ССК.

Існує декілька способів введення СКК. Для цього можна змінити місцеположення початкової точки 0,0,0, місцеположення і кут повороту площини XY й орієнтацію площини XY або осі Z. Користувач може розташувати і зорієнтувати СКК на будь-якому місці в 3D просторі і визначити, зберегти і наново викликати таку кількість збережених СКК, яка йому потрібна. Положення координатної системи можна зберігати і відновлювати.

Якщо на екрані монітора розташовано декілька видових екранів, на кожному з них можна встановити свою СКК.

## 6.4 Середовище для просторових побудов

### 6.4.1 Простір Моделі

Перше та яке найчастіше використовують робоче середовище AutoCAD – це простір **Моделі**. У ньому виконуються всі основні роботи по створенню плоских креслеників та тривимірних моделей.

Перед побудовою моделі необхідно настроїти кожне робоче середовище аби забезпечити точність та наочність побудов.

Побудова в просторі **Моделі** ведеться в натуральних розмірах об'єктів, що створюються.

### 6.4.2 Простір Листа

Головне призначення простору **Листа**– завершальна компоновка та підготовка кресленика для друку. Створюються ця можливість за допомогою плаваючих екранів видів, які застосовуються для відображення у них виглядів моделі або елементів плоского кресленика. Простір **Листа** можливо уявити собі як Лист паперу, на якому викреслюються один або декілька видів моделі, яка була створена в просторі **Моделі** в різних масштабах та під різними кутами зору.

Налагодження простору **Листа** передбачає знання формату листа паперу, на якому кресленик буде друкуватися.

## 6.5 Розфарбовування 3D об'єктів

AutoCAD дозволяє створювати фотореалістичні зображення. Для цього використовують команду «**Тонировать (render)**». Виконання цієї команди потребує підготовчих операцій, які потребують витрат часу. Але для отримання наочного зображення моделі достатньо видалити лінії невидимого контуру або розфарбувати об'єкти.

Для цього використовують опції команди **«Режимраскр (shademode)»**. Зручно використовувати **«Раскрашивание (Shade)»** для виклику опцій команди.

У режимі **«2D Каркас (2DWireframe)»** об'єкти зображуються відрізками та кривими без розфарбовування, відображаються типи та товщини ліній.

Режим **«3D Каркас (3DWireframe)»** подає об'єкт у вигляді відрізків та кривих, з кольорами матеріалів. На екран виводиться об'ємний знак СКК.

У режимі **«Скрытие невидимых линий (Hidden)»** об'єкт подається у каркасному вигляді, але лінії, які задають задні грані, не відображаються. В цьому режимі об'єкти заднього плану заслоняються об'єктами переднього та стають невидимими.

Режим **«Плоское (Flat Shaded)»**. У цьому режимі об'єкти розфарбовуються, криволінійні грані не мають плавного переходу. Невидимі грані та ребра не відображаються.

Режим **«По Гуро (Gouraud Shaded)»**. Об'єкти зображаються розфарбованими, криволінійні грані мають плавні переходи.

Цей режим надає об'єктам найбільш реалістичний вигляд, без використання фотореалістичного тонування. Невидимі ребра і грані не відображаються, Але видно матеріали, які задаються об'єктам.

У режимі **«Плоское, с кромками (Flat Shaded, Edges On)»** об'єкти виводяться як комбінація режимів **«Плоское (Flat Shaded) та 3D Каркас (3DWireframe)»**. При цьому грані розфарбовуються у колір, який задано, відображаються видимі лінії каркасу.

Режим **«По Гуро, с кромками (Gouraud Shaded, Edges On)»** є комбінацією режимів **«По Гуро (Gouraud Shaded)та3D Каркас (3DWireframe)»**. При цьому грані розфарбовуються у колір, який задано, відображаються видимі лінії каркасу.

Питання для самоконтролю.

1. Що собою представляють каркасні моделі?

2. Що собою представляють поверхневі моделі?
3. Що собою представляють тверділі моделі?
4. Чим відрізняються абсолютні координати від відносних?
5. Які системи координат вам знайомі?
6. Поняття простору **Моделі**.
7. Поняття простору **Листа**.
8. За допомогою якої команди можна отримати фотореалістичне зображення об'єкту?
9. Поняття декартових, циліндричних та сферичних координат.

## ТЕМА 7

### МОЖЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ГРАФІЧНИХ СИСТЕМ

#### *Зміст теми:*

- 7.1 Переваги тривимірного моделювання
  - 7.1.1 Можливість просторового перегляду
  - 7.1.2 Автоматичне створення проєкцій
  - 7.1.3 Автоматичне створення розрізів і перетинів
- 7.2 Система AutoCAD: можливості системи, історія розвитку
- 7.3 Переваги та недоліки використання системи AutoCAD
- 7.4 Видалення невидимих ліній та одержання реалістичних зображень
- 7.5 Можливість інженерного аналізу
- 7.6 Спеціалізовані програми на основі CAD-систем

#### **7.1 Переваги тривимірного моделювання**

Переваг у тривимірного моделювання перед іншими способами візуалізації досить багато. Тривимірне моделювання дає дуже точну модель, максимально наближену до реальності. Сучасні програми допомагають досягти високої деталізації. При цьому значно збільшується наочність проєкту. Висловити тривимірний об'єкт у двомірній площині не просто, тоді як 3D візуалізації дає можливість ретельно опрацювати і що саме головне, проглянути всі деталі. Це більш природний спосіб візуалізації.

У тривимірну модель дуже легко вносити практично будь-які зміни. Ви можете змінювати проєкт, прибирати одні деталі і додавати нові. Ваша фантазія практично ні чим не обмежена, і ви зможете швидко вибрати саме той варіант, який підійде вам якнайкраще.

Однак тривимірне моделювання зручно не тільки для клієнта. Професійні програми дають безліч переваг і виробника. З тривимірної моделі легко можна виділити кресленики будь-яких компонентів або конструкції цілком. Незважаючи

на те, що створення тривимірної моделі досить трудомісткий процес, працювати з ним у подальшому набагато простіше і зручніше ніж з традиційними креслениками. У результаті значно скорочуються тимчасові витрати на проектування, знижуються витрати.

Спеціальні програми дають можливість інтеграції з будь-яким іншим професійним програмним забезпеченням, наприклад, з додатками для інженерних розрахунків, програмами для верстатів або бухгалтерськими програмами. Впровадження подібних рішень на виробництві дає суттєву економію ресурсів, значно розширює можливості підприємства, спрощує роботу і підвищує її якість.

### **7.1.1 Можливість просторового перегляду**

Створюючи моделі будь-якої складності у просторі, користувач зможе побачити їх взаємне розташування, оцінити відстань між ними. Модель можливо вільно переміщати у просторі, переглядаючи безліч варіантів.

Можливість керування точкою зору дозволяє зручно обрати вид на тривимірну модель, що розробляється. Зумування, панорамування в режимі реального часу з можливістю вільного повороту камери навколо моделі надають можливість швидкого перегляду об'єктів з будь-якої точки зору.

Із застосуванням шарів різного призначення легко керувати видимістю частин 3D моделей.

Створення січних площин дозволяє переконатися в правильності внутрішньої будови моделі.

Тривимірне моделювання надає розробнику цілий ряд переваг.

### **7.1.2 Автоматичне створення проєкцій**

Після створення тривимірної моделі, користувач може отримати її двовимірні проєкції не тільки на основні площини, але й на будь-яку площину за своїм бажанням.

Створеними проєкціями легко керувати, вільно переміщаючи їх в просторі Листа.

### 7.1.3 Автоматичне створення розрізів і перерізів

Розрізи і перерізи створюються автоматично, користувач лише повинен обрати лінію розрізу або перерізу.

Користувач може створювати необхідну кількість розрізів і перерізів.

## 7.2 Система AutoCAD: можливості системи, історія розвитку

У багатьох галузях широке застосування в розробці проєктної та конструкторської документації отримала система AutoCAD.

Великі зміни та розробка нових можливостей в останніх версіях AutoCAD дозволяють використовувати його в моделюванні тривимірних об'єктів.

**AutoCAD** — система автоматизованого проєктування і розробки конструкторської документації, що широко використовується у всьому світі і є базовою системою в конструкторських і дизайнерських організаціях України.

**Розробником є компанія Autodesk** — один з провідних виробників програмного забезпечення для дизайнерів і конструкторів.

AutoCAD з'явився в 1982 році і був однією з перших САПР, розроблених для ПК. Швидко завоював популярність серед проєктувальників, інженерів і конструкторів різних галузей промисловості завдяки демократичним цінам.

Система AutoCAD пропонує найдосконаліші засоби для виконання кресленників, а також зручні інструменти тривимірного моделювання. Це потужна платформа для побудови САПР різного рівня складності.

Система AutoCAD — це універсальна графічна система автоматизації креслярсько-графічних робіт, в основу структури якої покладений принцип відкритої архітектури, що дозволяє адаптувати і розвивати багато функцій AutoCAD щодо конкретних задач і вимог.

AutoCAD може використовуватися для рішення широкого кола задач:

- креслення;
- конструювання;
- дизайнерських робіт;
- створення мульт і слайд фільмів.

### 7.3 Переваги та недоліки використання системи AutoCAD

Можливості та переваги AutoCAD:

- 1) прискорює щоденну роботу зі створення креслеників,
- 2) підвищує швидкість і точність їх виконання.
- 3) забезпечує легке та інтуїтивно зрозуміле створення і редагування твердих тіл і поверхонь.
- 4) легко та швидко створює на основі моделі розрізи та проєкції,
- 5) дозволяє ефективно формувати комплекти креслеників і керувати ними (групувати їх по розділах проєкту та іншим логічним категоріям, створювати переліки листів, керувати видами креслеників, архівувати комплекти проєктної документації та організувати спільну роботу фахівців).
- 6) одержання креслеників високої якості, оформлених за стандартами ЄСКД шляхом виведення на плотери, принтери та інші пристрої.
- 7) засоби візуалізації (такі як анімація і реалістичне тонування) допомагають виявити будь-які вади на ранніх етапах проєктування, а значить до того, як вони зможуть спричинити серйозні проблеми.
- 8) використовуваний в AutoCAD формат **DWG** є стандартом серед проєктувальників різних галузей промисловості, крім того, є можливості експорту і імпорту інших поширених файлових форматів, таких як **PDF**, що дозволяє ефективно організувати обмін даними між фахівцями.

Графічні редактори AutoCad забезпечують:

- інструменти ручного креслення — графічні примітиви;
- команди їхнього редагування;

- команди установки властивостей примітива;
- вибір формату листа і масштабу кресленника;
- нанесення розмірів у напівавтоматичному й автоматичному режимах;
- засоби керування зображенням на екрані;
- можливість об'єднання графічного об'єкта в єдиний блок, що зберігається під визначеним ім'ям і вставляється в креслениках;
- можливість створення зображення окремих елементів кресленника чи окремих деталей зборки в різних шарах;
- налаштування системи на будь-яку предметну область (налаштування панелей інструментів і панелей меню, створення нових типів ліній і зразків штрихування, створення нових меню, опис у параметричній формі об'єктів, що часто зустрічаються);
- моделювання 3D-об'єктів і надання їм фотографічної реальності;
- можливість експорту кресленника в Internet.

Програма постійно розвивається, серед можливостей можна назвати параметричні взаємозв'язки між об'єктами, створення і редагування об'єктів довільної форми тощо.

AutoCAD використовується у дизайні, архітектурі, машинобудуванні і виробництві; вміння працювати в системі AutoCAD стає обов'язковим навиком як і необхідність володіння комп'ютером. AutoCAD стає просто незамінним при проектуванні та підготовці конструкторської документації.

#### **7.4 Видалення невидимих ліній та одержання реалістичних зображень**

AutoCAD чітко розрізняє, які ребра або грані на кожному окремому виді необхідно видалити або які 3D об'єкти закривають один одного, та видаляє або показує відповідні елементи.

Створену тривимірну модель можливо показати в розмальованому виді з тінями. В такому вигляді всі об'єкти моделі подаються в кольорі, який належить їм безпосередньо або через шар.

Об'єктам також можливо задати матеріал або текстуру.

Найбільш реалістично моделі виглядають при їх тонуванні з матеріалами, з накладеними текстурами, при розстановці освітлення. Є можливість виконати тонування на растровому полі, наприклад, модель котеджу можливо показати на місцевості, де він буде побудований, використовуючи як растровий фон фото цієї місцевості.

## 7.5 Можливість інженерного аналізу

Для твердих тіл надається можливість визначити такі параметри, як маса і об'єм, центр мас, моменти та радіуси інерції, центробіжні моменти інерції та головні моменти за напрямками X, Y, Z відносно центра мас.

AutoCAD дозволяє швидко обчислити будь-які розміри об'єктів, які необхідні для їх виробництва, визначити площі та периметри замкнених об'єктів.

## 7.6 Спеціалізовані програми на основі CAD-систем

**AutoCAD Architecture** — версія, орієнтована на архітекторів і містить спеціальні додаткові інструменти для архітектурного проєктування і креслення, а також засоби випуску будівельної документації.

**AutoCAD Electrical** розроблений для проєктувальників електричних систем управління і відрізняється високим рівнем автоматизації стандартних завдань і наявністю великих бібліотек умовних позначень.

**AutoCAD Mechanical** — продукт для промислового виробництва. Він допомагає прискорити процес проєктування, дозволяючи в той же час використовувати досвід та проєкти, накопичені при роботі в AutoCAD. Має у своєму складі бібліотеки ГОСТ, стандартних деталей і функції автоматизації типових завдань.

**AutoCAD Civil 3D** — рішення для проєктування об'єктів інфраструктури, призначене для землевпорядників, проєктувальників генплану і проєктувальників лінійних споруд. Крім основних можливостей AutoCAD Civil 3D може виконувати

ти такі види робіт, як геопросторовий аналіз для вибору відповідної будмайданчика, аналіз зливових стоків для забезпечення дотримання екологічних норм, складання кошторису і динамічний розрахунок обсягів земляних робіт.

**AutoCAD MEP** орієнтований на проєктування інженерних систем об'єктів цивільного будівництва: систем сантехніки і каналізації, опалення та вентиляції, електрики та пожежної безпеки. Реалізована побудова тривимірної параметричної моделі, отримання креслеників і специфікацій на її основі.

**AutoCAD Inventor Suite** — основа технології цифрових прототипів Autodesk - дозволяє вийти за звичні рамки 3D моделювання і розробляти цифрові прототипи майбутніх виробів. Ця технологія допомагає створювати точні 3D моделі деталей та виробів і всебічно вивчати їх реальну поведінку ще до виготовлення дослідних зразків, що дозволяє скоротити витрати на проєктування і виробництво.

#### Питання для самоконтролю.

1. Які переваги тривимірного моделювання ви знаєте?
2. За допомогою яких дій можна здійснити швидкий перегляд об'єктів?
3. Як можна отримати двовимірні проєкції моделі на різні площини?
4. Які параметри твердих тіл можна визначити в графічному редакторі?
5. Для чого можна використовувати графічні редактори?
6. Які переваги та недоліки використання системи AutoCAD?
7. Які ви знаєте спеціалізовані програми на основі CAD-систем?

## ТЕМА 8

### СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ ТІЛ І ПОВЕРХОНЬ

#### *Зміст теми:*

- 8.1 Примітиви
  - 8.1.1 Ящик, сфера, циліндр, конус, клин, тор
  - 8.1.2 Створення об'єктів видавлюванням (екструзією) та обертанням
    - 8.1.2.1 Підготовчі операції для створення тіл видавлювання та обертання
    - 8.1.2.2 Тіла видавлювання
    - 8.1.2.3 Тіла обертання
- 8.2 Об'єкти складної форми
  - 8.2.1 Об'єднання об'єктів
  - 8.2.2 Віднімання об'єктів
  - 8.2.3 Перетин об'єктів
  - 8.2.4 Взаємодія об'єктів
- 8.3 Використання динамічної СКК.

Твердотілі об'єкти , або тіла, - це зображення об'єктів, які зберігають інформацію про свої об'ємні властивості. Використання тіл дозволяє створювати найбільш реалістичні об'єкти.

Можливе створення тривимірних тіл і поверхонь із самого початку, використовуючи відповідні просторові примітиви: ящики, конуси, циліндри, кулі, клини, піраміди і тори. З цих форм шляхом їх об'єднання, віднімання і перетини будуються складніші просторові тіла.

Можна також створювати 3D тіла і поверхні на основі існуючих двовимірних об'єктів за допомогою будь-якого з таких методів:

- видавлювання об'єктів;
- зсув об'єктів уздовж траєкторії;
- обертання об'єктів навколо осі;

- по перетинах;
- розрізання тіла;
- перетворення плоских об'єктів, що мають товщину, на тіла і поверхні.

Тіла і поверхні відображаються в такому візуальному стилі, що застосований для відповідного видового екрана. Для тіл передбачена можливість аналізувати властивості, властиві маси (об'єм, момент інерції, центр мас і т.ін.). Дані про тіло можуть експортуватися в такі додатки, як системи числового програмного управління (ЧПУ).

## 8.1 Примітиви

Для моделювання складних тіл, які реалістично відображають навколишній світ, використовують стандартні об'ємні тіла, такі, як ящик, сфера, циліндр, конус, клин, тор, а також тіла, які створюються шляхом обертання або видавлювання замкнених контурів (поліліній або областей).

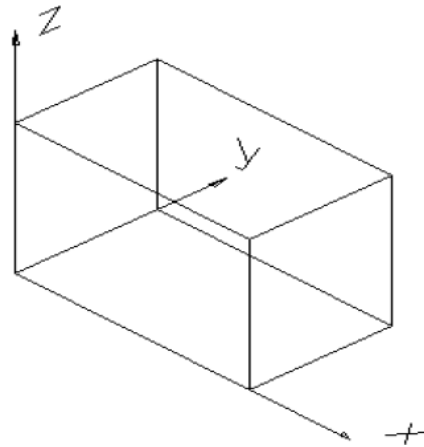
При створенні тривимірних твердотілих об'єктів зручно використовувати **Solids**.

### 8.1.1 Ящик, сфера, циліндр, конус, клин, тор

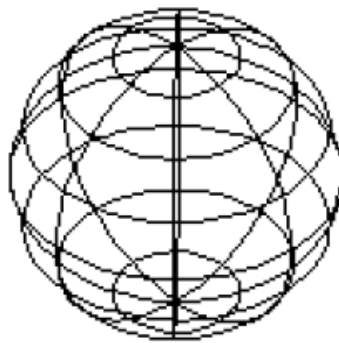
Команда «**Ящик**» створює прямокутний паралелепіпед. Команда має кілька опцій:

- 1). Паралелепіпед можливо побудувати вказавши два протилежних кута основи та задавши висоту;
- 2). Для побудови ящика можливо вказати його геометричний центр та один з кутів або визначити його висоту;
- 3). При обранні опції **Cube** будова ящика визначається одним розміром, який буде прийнятий для його довжини, ширини та висоти;
- 4). Створити ящик можливо визначивши його довжину, ширину та висоту.

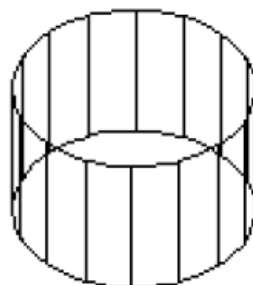
Основа ящика завжди викреслюється паралельно площині ХУ поточної СКК.



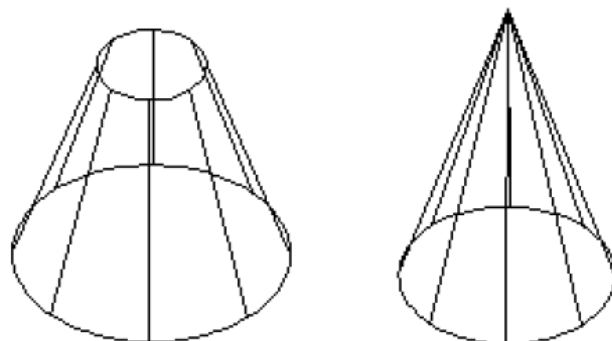
При створенні об'єкта «Сфера» використовуються два параметри: точка центру сфери та її радіус, або діаметр. При формуванні шару його паралелі проходять паралельно поточному положенню площини ХУ.



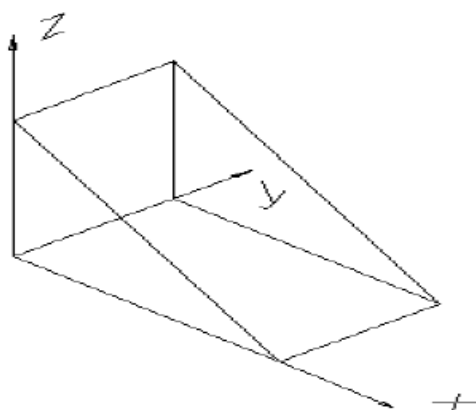
Команда «Циліндр» застосовується для побудови циліндрів, які в основі мають коло або еліпс. Використовуючи режим вводу центру верхньої основи, можливо створити похилий циліндр. При побудові циліндра, використовуються параметри: центр основи, радіус або діаметр циліндра, а також точка – центр другої основи. За умовчанням, основа циліндра розташовується в площині ХУ поточної СКК. Висота циліндра паралельна осі Z.



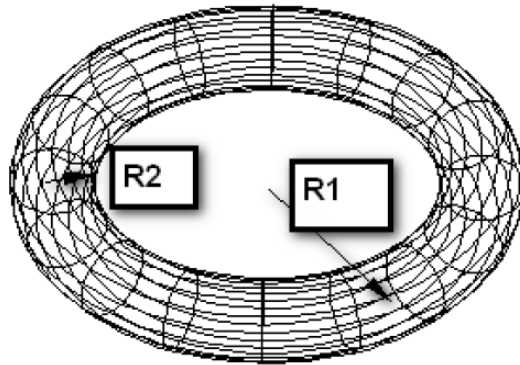
«**Конус**» – це тверdotілий об'єкт, основою якого може бути коло або еліпс. Висоту конуса можливо вводити безпосередньо вказавши її значення або координати верхівки.



Тіло «**Клин**» – це половина прямокутного паралелепіпеда – ящика, який зрізали по діагоналі, а тому й опції команди «**Клин**» аналогічні опціям команди «**Ящик**». За замовчуванням основа клина паралельна площині побудови поточної СКК.



«**Тор**» – це тривимірний бублик, для створення якого використовуються такі параметри як центр тора, радіус (діаметр) тора, а також радіус або діаметр порожнини. Змінюючи такі параметри як радіус або діаметр тора та радіус (діаметр) порожнини можливо отримати такі об'єкти, як тори, що самі пересікаються, та об'єкти, які нагадують лимон. Тор, що сам пересікається – це тор, який не має центрального отвору. Для створення торів, які самі пересікаються, треба задавати радіус порожнини більшим від радіуса тора. Аби створити тор у вигляді лимону, необхідно задати від'ємний радіус тора та додатний радіус порожнини. Радіус порожнини повинен бути більшим за абсолютним значенням.



## 8.1.2 Створення об'єктів видавлюванням (екструзією) та обертанням

### 8.1.2.1 Підготовчі операції для створення тіл видавлювання та обертання

Також для створення тіл використовують спеціальні команди, які дозволяють побудувати простіше й швидше більш складні геометричні форми, ніж ті, які отримують об'єднанням твердотілих об'єктів. Ця група команд дозволяє створювати геометричні об'єкти практично різної конфігурації, тому що форма об'єкта визначається формою профілю плоских кривих, які розташовані в потрібному місці простору. На основі плоских замкнених або розімкнених кривих створюються наступні об'єкти:

- плоскі поверхні;
- тіла, що створенні видавлюванням;
- тіла обертання;
- тіла, які отримані зсувом уздовж траєкторії;
- тіла, які отримані по декільком поперечним перетинам.

Після створення тіла вихідна плоска крива може автоматично видалятися з кресленника, якщо системна змінна *DELOBJ*=1. Якщо *DELOBJ*=0, то вихідна крива зберігається після отримання тривимірного об'єкта.

Головна вимога до об'єкта, який буде видавлений або обернутий, - контур видавлювання або обертання повинен бути замкненим.

До таких об'єктів відносяться багатокутники, прямокутники, кола, еліпси, замкнені сплайни й полілінії, кільця та області.

**Полілінія** може бути складена з відрізків прямих або дуг окружностей. Ланки можуть мати різну товщину або товщину, що плавно змінюється.

**Сплайн** – це гнучка лінія, яка сполучає задані точки. Сплайн використовують при побудові плавних кривих складної форми.

**Область** (region) – тип плоского об'єкта, який має ряд особливих властивостей. Області створюються командою **Region** для об'єднання ліній в єдиний контур. Області можливо додавати, віднімати, пересікати для того, щоб створити складний контур.

Властивості області можливо задати будь-якому замкненому об'єкту – полілінії, колу, еліпсу. Область можливо створити з відрізків, дуг й інших незамкнених контурів, в яких початкова та кінцева точки співпадають. Якщо до області застосувати команду **Расчленишь**, область розпадеться на відрізки та дуги.

### 8.1.2.2 Тіла видавлювання

Тіла, створені видавлюванням, - це об'єкти, які створюються шляхом присвоєння висоти плоским замкненим об'єктам. Для виконання цієї операції використовується команда «**Выдавить (extrude)**».

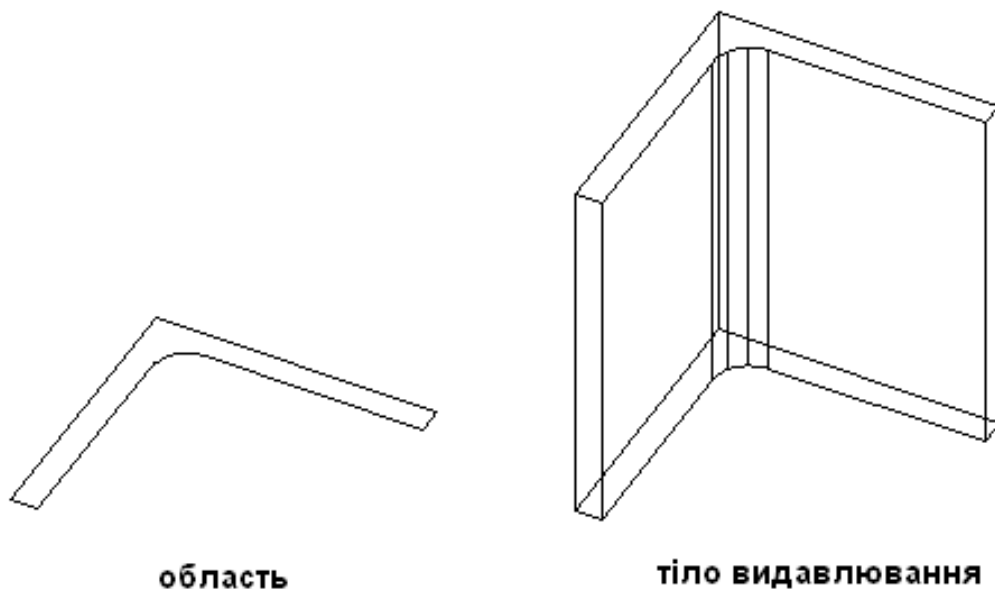
Видавлювання об'єктів виконується впродовж осі Z. Задання додатного значення величини видавлювання призводить до видавлювання об'єкта впродовж додатного напрямку осі Z відносно поточної системи координат.

При виконанні цієї операції можливо створювати об'єкти з похилими боковими гранями, якщо задати кут звуження, який не дорівнює нулю. Кут звуження – це кут між направленням осі Z та бічною гранню твердого тіла. Кут звуження може мати значення від -90 до +90 градусів. Значення додатного кута призводить до звуження об'єкта, від'ємного – до розширення.

Тіла і поверхні можна одержувати за допомогою видавлювання вибраних об'єктів. Якщо видавлюється замкнений об'єкт, отримуємо тіло, якщо видавлюється незамкнений об'єкт, отримуємо поверхню.

Операцію видавлювання можна застосувати до таких об'єктів: відрізок, дуга, еліптична дуга, 2D полілінія, 2D сплайн, коло, еліпс, 3D грань, 2D фігура, область, плоска поверхня, плоска грань на тілі.

Якщо полілінія має ширину, ця ширина ігнорується і полілінія видавлюється з центру своєї траєкторії. Якщо вибраний об'єкт має товщину, ця товщина також ігнорується. Перед використанням команди видавлювання можна також перетворити об'єкти на область. Видавлювання об'єкта на задану висоту виглядає так:

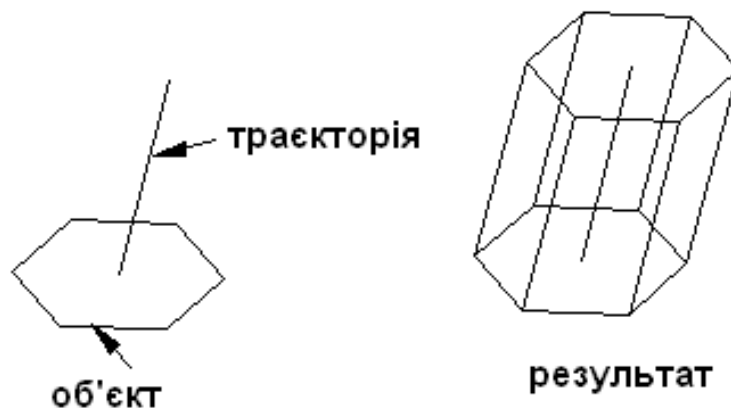


При видавлюванні об'єктів можна задати будь-який з таких параметрів:

- траєкторія;
- кут конуса;
- напрямок.

При створенні об'єктів видавлюванням можливо використати траєкторію видавлювання, якою можуть бути відрізки, кола, дуги, еліпси, еліптичні дуги, полілінії та сплайни. При побудові траєкторії слід пам'ятати, що вона не повинна

знаходиться в одній площині з контуром видавлюванням. **Видавлювання об'єкта по траєкторії** виглядає так:



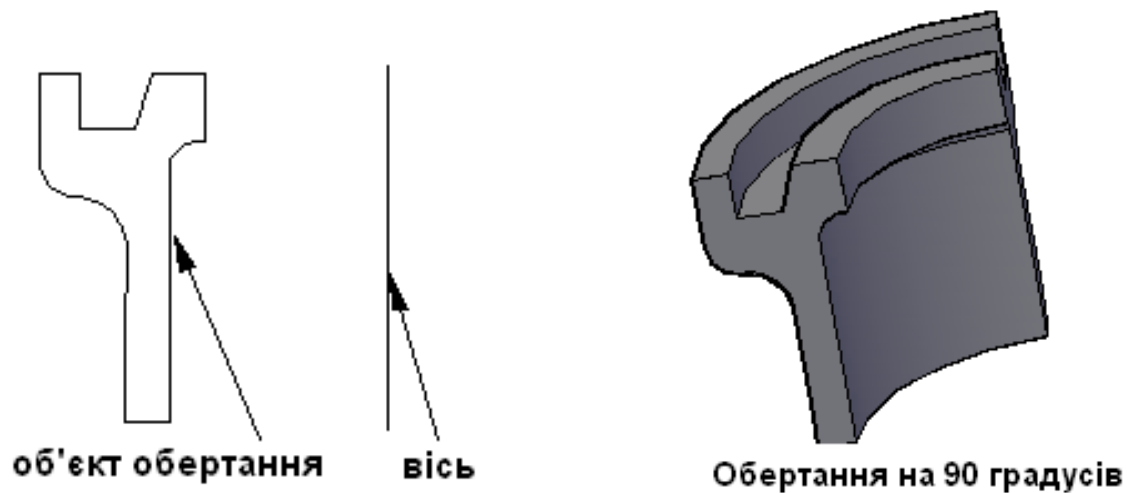
### 8.1.2.3 Тіла обертання

Тіла обертання – це тверdotілі об'єкти, які створені шляхом обертання замкненого контуру навколо визначеної осі.

Для створення тіл обертання використовують команду «**Врацать (revolve)**».

Тіло обертання можливо створити, якщо в якості осі обертання використувати осі X або Y. Ось обертання також задають, позначивши дві точки на умовній осі обертання. Полілінія, як ось обертання, має особливість: ось обертання – це вектор, який з'єднує першу вершину полілінії з останньою.

Кут обертання – кут, на який буде повернутий вихідний об'єкт навколо осі обертання при створенні твердого тіла. Він має значення до  $360^\circ$ . Наприклад:

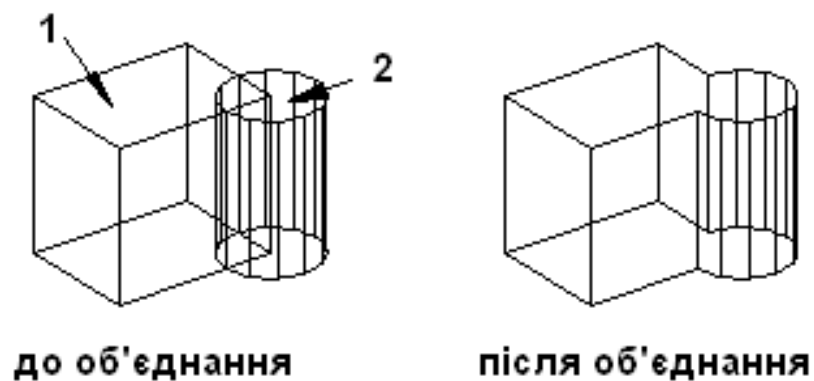


## 8.2 Об'єкти складної форми

Для створення об'єктів складної форми застосовують спеціальні операції, які мають назву булевих. До цих операцій відносяться операції: об'єднання, віднімання та перетину твердотілих об'єктів. Окрім твердих тіл ці операції застосовують також до 2D об'єктів, таких як області.

### 8.2.1 Об'єднання об'єктів

Для об'єднання двох та більше тіл в одне використовують команду «Об'єднання (union)». Наприклад:



При об'єднанні вихідні тіла не зберігаються. Для їх повторного використання необхідно створити копії.

Для об'єднання областей застосовується та ж команда, що й для тіл. Однак, якщо області не належать одній площині XY, об'єднання не відбудеться.

### 8.2.2 Віднімання об'єктів

Для створення об'єктів складної геометричної форми, які мають отвори, зручно використовувати команду «**Вычитание (subtract)**».

Як й при створенні тіл об'єднання, при виконанні операції віднімання вихідні об'єкти не зберігаються. Для подальшої роботи з тілами необхідно створити їх копії.

За допомогою команди «**Вычитание**» з набору тіл видаляються ті частини об'єкта, що належать іншому набору тіл. Цю команду можна використовувати для отримання отворів у механічних деталях шляхом віднімання циліндрів з об'єктів. Наприклад:



Якщо області не належать одній площині, операція віднімання не виконується.

### 8.2.3 Перетин об'єктів

Тіла перетину – це тіла, які обіймають простір, який є спільним для двох та більше тіл.

Починають створення тіл перетину з побудови двох або більше тіл, які потім суміщають потрібним чином. Можливо в процесі створення вихідних тіл виконувати побудову, таким чином, щоб тіла одразу були суміщені. При виконанні цих операцій слід використовувати об'єктну прив'язку, координатні фільтри та інші інструменти, що забезпечують точність створення об'єктів.

Для створення тіл перетину використовують команду **«Пересечение (intersect)»**.

При формуванні спільного об'єму для тіл перетину беруть участь всі тіла, які були обрані. Якщо серед обраних тіл буде лише одне, яке не має спільного об'єму з іншими тілами, то тіло перетину не буде створено.

Після створення тіла перетину, вихідні об'єкти видаляються.



Для створення тіл, які обіймають спільний об'єм для двох та більше тіл, без видалення вихідних тіл можливо використовувати команду **«Взаимодействие (interfere)»**.

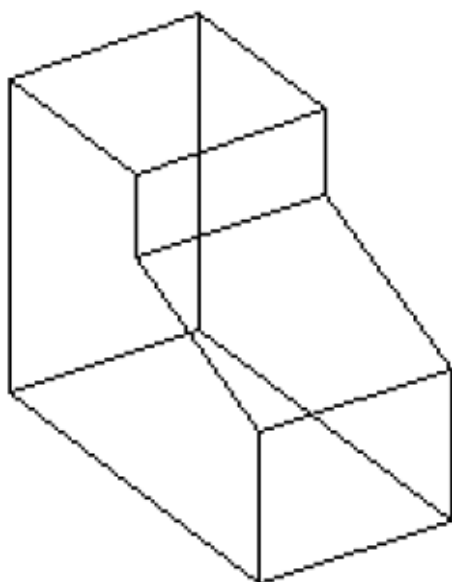
#### 8.2.4 Взаємодія об'єктів

Використовуючи команду **«Взаимодействие (interfere)»**, можливо створювати тіла, які обіймають спільний об'єм для групи обраних тіл. Ця команда подібна до команди **«Пересечение (intersect)»**, але відрізняється від неї тим, що вихідні об'єкти не видаляються, окрім, цього за допомогою цієї команди можливо створити декілька тіл за один раз.

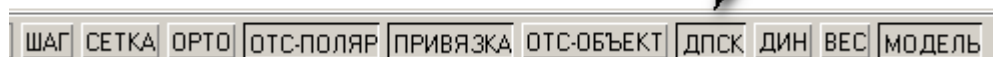
### 8.3 Використання динамічної СКК

За допомогою функції *динамічної системи координат користувача* (СКК) можна при створенні об'єктів на короткий час автоматично вирівняти ХУ-площину СКК по площині в моделі тіла. Під час виконання команди побудови вирівнювання СКК забезпечується переміщенням призначеного для користувача покажчика системи координат на ребро грані. Оскільки виконання команди завершується, СКК повертається на своє попереднє місце зі збереженням колишньої орієнтації.

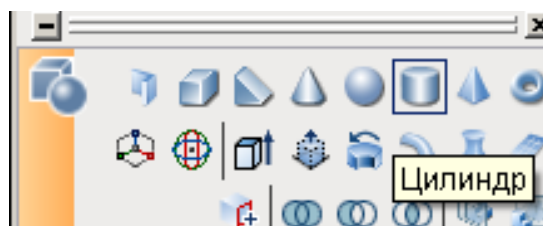
Продемонструємо використання динамічної СКК на прикладі побудови циліндра поверх розташованої під кутом грані моделі тіла як показано на рисунку.



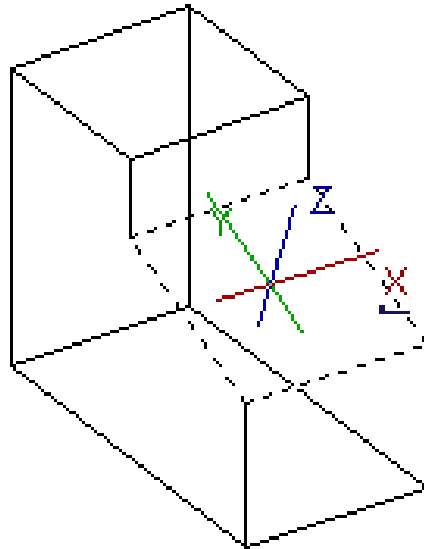
Активуємо функцію динамічної СКК за допомогою клавіші F6, або кнопкою ДПСК у рядку стану.



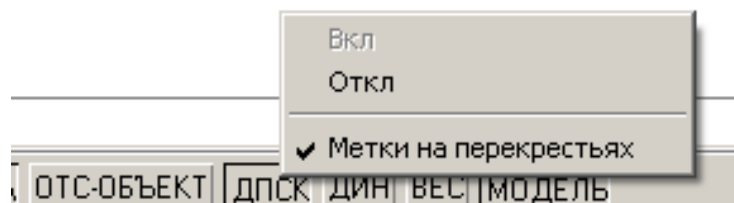
Виконаємо команду побудови циліндра



При переміщенні покажчика миші на похилу грань курсор змінюється для відображення напрямку осей динамічної СКК. Грань при цьому виділяється пунктиром.

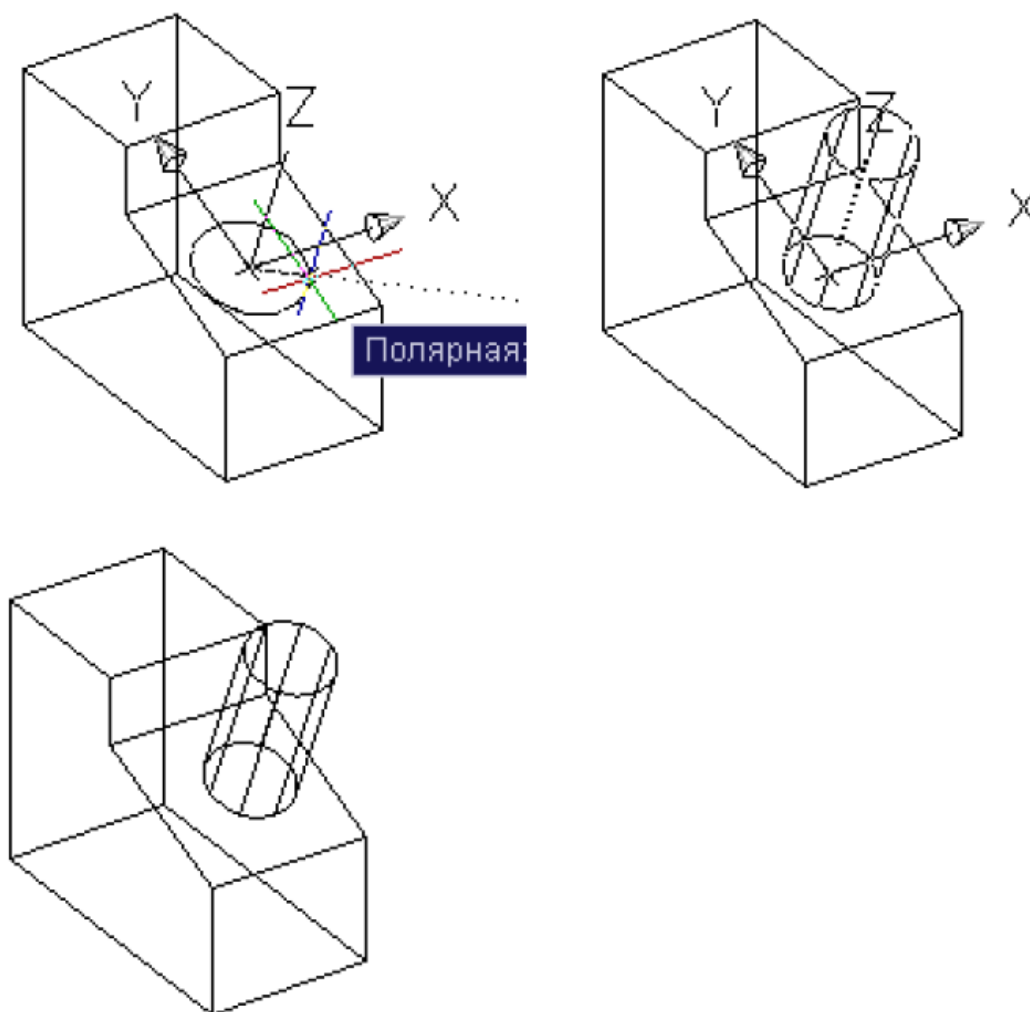


Для відображення міток XYZ на осях можна скористатися контекстним меню на кнопці ДПСК у рядку стану і вибрати команду «**Метки на перекрестьях**».



Вісь X динамічної СКК розташовується уздовж ребра грані, і позитивний напрям осі X завжди вказує на праву половину екрана. Динамічна СКК здатна знайти тільки передні грані тіла.

Далі можна легко створювати об'єкти на розташованій під кутом грані як показано на наступних рисунках.



Якщо активні режими "Сітка" і "Прив'язка", вони на якийсь час вирівнюються по динамічній СКК. Ліміти відображення сітки встановлюються автоматично.

Динамічна СКК доступна тільки при активній команді.

Питання для самоконтролю.

1. Що таке твердотілі об'єкти в графічному редакторі?
2. Що таке примітиви?
3. За допомогою яких примітивів можна створювати кресленики тіл ?
4. Які об'єкти створюються на основі плоских замкнених або розімкнених кривих?

5. Що таке тіла, створені видавлюванням?
6. Як створити тіло за допомогою траєкторії?
7. Як створити тіла обертання?
8. Якою командою можна об'єднати об'єкти?
9. Як працює команда віднімання об'єктів?
10. Якою командою можна сумістити декілька тіл?
11. Що таке динамічна СКК і коли її використовують?

## ТЕМА 9

### МОДИФІКАЦІЯ ТВЕРДИХ ТІЛ

#### *Зміст теми:*

- 9.1 Модифікація тіл шляхом редагування їх граней та ребер
  - 9.1.1 Редагування граней
    - 9.1.1.1 Видавлювання граней
    - 9.1.1.2 Перенесення граней
    - 9.1.1.3 Зсув граней
    - 9.1.1.4 Видалення граней
    - 9.1.1.5 Поворот граней
    - 9.1.1.6 Зведення грані на конус
    - 9.1.1.7 Копіювання граней
    - 9.1.1.8 Зміна кольору грані
  - 9.2.2 Редагування ребер
    - 9.2.2.1 Копіювання ребер
    - 9.2.2.2 Зміна кольору ребра
- 9.2 Редагування тіл в цілому
  - 9.2.1 Нанесення клейма іншим об'єктом
  - 9.2.2 Очистка тіл
  - 9.2.3 Розділення тіл
  - 9.2.4 Створення оболонки тіла
- 9.3 Створення розтинів та перерізів твердотілих об'єктів
  - 9.3.1 Створення розтинів тіл
  - 9.3.2 Створення перерізів

## 9.1 Модифікація тіл шляхом редагування їх граней та ребер

Команда «**SOLIDEDIT (РЕДТЕЛ)**» дозволяє виконати багато операцій, пов'язаних з редагуванням масивних тривимірних об'єктів.

Команда має ряд опцій, що розрізняють елементи об'єктів редагування, а саме: грань, ребро, тіло.

При редагуванні граней можна виконувати такі операції: видавити, звести на конус, перенести, повернути, змістити, копіювати, змінити колір. Редагування ребер масивних об'єктів відбувається шляхом зміни їх кольору та копіювання. Вибравши опцію тіло, можна виконати такі операції: клеймити, розділити, створити оболонку, спростити, перевірити.

Окрім граней та ребер, які обмежують загальний об'єм твердотілого об'єкта, тіла можуть мати прямолінійні або криволінійні отвори, які також є гранями, а лінії їх сполучення – ребрами. Команди редагування граней та ребер обробляють однаково, як зовнішні так й внутрішні грані та ребра.

Обрання будь-якої з опцій редагування граней або ребер призводить до запиту обрання відповідних елементів. Обрати елемент можна декількома способами:

- обравши точку посеред грані;
- за допомогою рамок вибору;
- безпосередньо вказавши грань або ребро.

Не завжди можливо обрати необхідну грань, особливо, якщо тіло має складну конфігурацію. Тому можливо змінити набір вибору. Аби видалити деяку грань з набору, необхідно натиснути Shift, та тримаючи її, повторно обрати грань або ребро.

Редагуванні тіл з використанням опцій команди **solidedit** може привести до створення некоректної структури тіла. У подальшому не можливо бути обробляти такі об'єкти. Тому в AutoCAD є системна змінна **solidcheck**, за допомогою якої можливо задавати режим перевірки тіл після кожної операції редагування. За замовчуванням значення **solidcheck** дорівнює 1, тобто перевірка тіл працює.

## 9.1.1 Редагування граней

### 9.1.1.1 Видавлювання граней

Видавлювання граней – операція аналогічна операції видавлювання плоского двовимірного об'єкта (області, полілінії). Видавлювання граней можливо використовувати для зміни розмірів тіл, прямокутних отворів.

Запити при обранні опції **«Выдавить грань(extrude face)»** команди **solidedit** співпадають із запитамі команди **«Выдавить»** для створення тіл.

### 9.1.1.2 Перенесення граней

Використовуючи опцію **«Перенести грань (move face)»**, можливо виконати перенесення обраної грані, наприклад отвору, в інше місце.

Якщо під час виконання команди будуть задані некоректні дані (наприклад, при переміщенні отвору воно винесеться за розміри грані), операція не виконається.

### 9.1.1.3 Зсув граней

Опція **«Сместить грань (Offset face)»** дозволяє виконати рівномірний зсув граней на необхідну відстань. Ця операція знадобиться, наприклад, щоб пропорційно збільшити розміри отвору в стінці складної конфігурації. Додатне значення зсуву призведе до збільшення об'єму тіла, від'ємне – до його зменшення.

Якщо під час виконання операції задана некоректна величина зсуву, команда призупинить виконання операції та повідомить про помилку.

#### 9.1.1.4 Видалення граней

Використовуючи опцію **«Удалить грань (Delete face)»**, можливо видалити грані на об'єкті, у тому числі ті, які отримані під час побудови фасок та округлення. Окрім цього, опцію можливо застосовувати для видалення отворів на твердотілих об'єктах.

#### 9.1.1.5 Поворот граней

Опція **«Повернуть грань (Rotate face)»** дозволяє обернути обрані грані на визначений кут. Використовуючи її можливо, наприклад, перетворити вертикальний отвір в похилий.

Також за допомогою опції можливо зменшити кут нахилу грані тривимірного тіла або її положення.

#### 9.1.1.6 Зведення грані на конус

Опція **«Свести грань на конус (taper face)»** дозволяє виконати операцію, коли обрані грані нахиляються під однаковим кутом. Застосовувати цю операцію можливо як до цілого тіла, так й до його окремих елементів, наприклад, до отвору. Важливо правильно обрати грані.

Напрямок нахилу граней визначається заданням базової точки та другої точки на осі конуса. Ці дві точки визначають лінію осі конуса, по відношенню до якої уводиться кут нахилу граней. Нахил грані виконується у напрямку другої точки. Кут звуження може мати як додатне значення (об'єм зменшується), так й від'ємне (об'єм збільшується). Нахил усіх граней, які входять до набору виконуються під одним кутом.

### 9.1.1.7 Копіювання граней

Опція «**Копировать грань (copy face)**» дозволяє створювати області або тіла ACIS з граней твердотілого об'єкта. Якщо обрана грань плоска, то створюється область, в іншому разі – ACIS тіло – специфічний об'єкт, який не підлягає редагуванню.

ACIS тіла (BODY), або довільні тіла – об'єкти довільної форми. Створити такі тіла безпосередньо, використовуючи команди створення об'єктів, не можливо. Вони генеруються AutoCAD у випадку, якщо створений у результаті деяких операцій об'єкт не можливо віднести до будь-якої категорії об'єктів.

Отриману область в результаті копіювання плоскої грані можливо використовувати для створення нових тіл шляхом видавлювання або обертання.

### 9.1.1.8 Зміна кольору грані

Зміну кольору грані виконують за допомогою опції «**Изменить цвет грани (Color face)**».

Зміна кольору грані застосовується для того, щоб потім їй можливо було присвоїти певний матеріал, який пов'язаний з цим кольором, який буде відрізнятися від матеріалу, який присвоєний усьому тілу, або для візуального контролю грані.

Матеріал для тіла можливо присвоїти трьома способами:

- для тіла в цілому;
- по кольору, який присвоєно окремим елементам об'єкта;
- за шаром.

Тобто об'єкту можливо присвоїти декілька матеріалів. При цьому пріоритет має прив'язка матеріалу за тілом, потім по кольору, в останню чергу, за шаром.

Аби певній грані можливо було присвоїти матеріал за кольором, колір необхідно задати індексним номером. Матеріал можливо прив'язати тільки до номеру кольору з індексом.

## 9.1.2 Редагування ребер

Ребра твердотілих об'єктів – це лінії перетину граней, які зображаються двовимірними об'єктами типа відрізків, дуг або кіл. В AutoCAD є дві опції команди **solidedit**, які застосовуються для роботи з ребрами, - копіювання ребер та зміна кольору.

### 9.1.2.1 Копіювання ребер

Опція «**Копіювати ребро (copy edge)**» дозволяє зробити новий двовимірний об'єкт, який є копією ребра тіла. Створений новий об'єкт можливо використовувати для створення нових об'єктів або аналізу існуючого тіла.

### 9.1.2.2 Зміна кольору ребра

Застосовується ця операція для того, щоб візуально відрізнити окремі ребра, що полегшує редагування тіл. Виконується операція з допомогою опції «**Змінити колір ребра (color edge)**».

## 9.2 Редагування тіл в цілому

### 9.2.1 Нанесення клейма іншим об'єктом

Використовуючи опцію «**Клеймить (imprint)**», можливо поставити клеймо на грань тіла.

В якості об'єктів, якими наноситься відбиток, використовують кола, дуги, еліпси, полілінії, сплайни, області, а також твердотілі об'єкти. Об'єкти, якими наносять клеймо, повинні перетинати грань твердотілого об'єкта.

Відбиток створюється на шарі, якому належить тіло, на яке він наноситься.

Після виконання цієї опції на грані створюються відбиток, який повторює лінію перетину грані з об'єктом, яким нанесений відбиток. Відбиток з'явиться відразу ж, якщо обрано опцію «**Да**» у запиті про видалення початкового об'єкту. При іншому значенні відбиток можливо побачити, якщо перенести вихідний об'єкт або відключити його видимість шляхом заморожування або відключення шару, до якого належить об'єкт.

### 9.2.2 Очистка тіл

Очистка тіл – це видалення з граней тіл всіх відбитків. Виконується очистка опцією «**Очистить (Clean)**».

### 9.2.3 Розподіл тіл

Тіла, які були створені командою «**Объединение (union)**» та не мали спільних точок, можливо відокремити на окремі твердотілі об'єкти, використовуючи опцію «**Разделить (separate)**».

### 9.2.4 Створення оболонки тіла

Під час 3D моделювання може постати задача створити ємність на базі твердотілого об'єкту.

Застосовуючи опцію «**Оболочка (shell)**», можливо сформувати тонкостінні оболонки певної товщини, яка для всіх стінок оболонки виконується однаковою. При формуванні оболонки можливо виключити деякі грані вихідного об'єкту.

Створюючи оболонку, AutoCAD формує нове тіло. Грані нового тіла створюються шляхом зсуву граней обраного тіла в ту чи іншу сторону від вихідного положення. Напрямок зсуву залежить від знаку товщини стінок оболонки. При додатній товщині нові грані створюються усередині вихідного об'єкта, при від'ємній – зовні.

## 9.3 Створення розтинів та перерізів твердотілих об'єктів

### 9.3.1 Створення розтинів тіл

Використовуючи команду «**Разрез (slice)**», можливо розділити тіло на дві частини, потрібно тільки вказати січну площину. Під час виконання команди можливо залишити тільки одну частину тіла, або зберегти обидві, але в розрізаному виді. Побудова розтинів дозволяє виявити дефекти тіл.

Розрізані частини тіла можливо знову об'єднати в одне тіло за допомогою команди «**Объединение (union)**».

За замовчуванням січну площину визначають трьома точками. Січну площину можливо задати декількома способами (опції):

- **объект (object)** – січна площина співпадає з площиною, на якій побудовано об'єкт. В якості такого об'єкта можуть бути коло, еліпс, дуга, сплайн або сегмент полілінії;
- **Zось (Zaxis)** – задають початок осі Z (нормалі) та другу точку, яка задає напрямок осі Z. Січна площина співпадає з площиною XY;
- **Вид (view)** – січна площина паралельна площині виду на поточному екрані виду. Місцеположення площини визначається точкою, яку визначають додатково;
- **XY, XZ, YZ** – січна площина паралельна площині XY, XZ, YZ поточної СКК. Місцеположення площини визначаються додатковою точкою.

### 9.3.2 Створення перерізів

Переріз – це плоска область, яка є контуром перерізу тіла з умовною площиною, яка задається користувачем.

На відміну від розтину команда «**Сечение (section)**» не ділить об'єкт, а лише створює новий плоский об'єкт – область. Області, які створені цією командою, формуються на поточному шарі.

Опції команди «Сечение (**section**)» співпадають з опціями команди «Разрез (**slice**)».

Після виконання команди система створить область, яка розташована всередині тіла. Аби візуально її було простіше відрізнити, бажано встановити поточний шар з контрастним кольором по відношенню до тіла.

Створену область можливо перемістити.

### Питання для самоконтролю

1. Якою системною змінною можна задавати режим перевірки тіл після кожної операції редагування.?
2. Для чого використовується видавлювання граней?
3. Для чого використовується перенесення граней?
4. Для чого використовується зсув граней?
5. Для чого використовується поворот граней?
6. Для чого змінюють колір грані?
7. Якою командою можна створити оболонку тіла?
8. Як створити розтин тіла?
9. Як створити переріз тіла?

## ТЕМА 10

### КОМАНДИ РЕДАГУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В 3D МОДЕЛЮВАННІ

#### *Зміст теми:*

- 10.1 «Стереть»
- 10.2 «Копировать»
- 10.3 «Зеркало»
- 10.4 «Подобие»
- 10.5 «Массив»
- 10.6 «Перенести»
- 10.7 «Повернуть»
- 10.8 «Масштаб»
- 10.9 «Растянуть»
- 10.10 «Увеличить»
- 10.11 «Обрезать»
- 10.12 «Удлинить»
- 10.13 «Разорвать»
- 10.14 «Фаска»
- 10.15 «Сопряжение»
- 10.16 «Расчленить»
- 10.17 «Выровнять»

Створюючи моделі в 3D просторі, користувачу постійно необхідно комбінувати команди створення плоских об'єктів, перетворення цих об'єктів у тривимірні тіла, а також модифікації 3D об'єктів.

Більшість команд редагування двовимірного простору застосовуються також й при редагуванні твердотілих об'єктів. В AutoCAD також є декілька спеціальних команд, які застосовуються тільки для 3D простору.

## 10.1 «Стереть»

Команда «Стереть (**erase**)» в 3D просторі використовується так само, як й на площині. Однак, вибір одного ребра тіла приведе до видалення усього тіла.

## 10.2 «Копировать»

Для копіювання об'єктів в тривимірному просторі використовується команда «Копировать (**copy**)», як й при роботі на площині. Базову точку й точку переміщення задають тривимірними, використовуючи засоби точної побудови.

## 10.3 «Зеркало»

Якщо ось відображення розташована в площині XY, то операцію виконують стандартною командою «Зеркало (**mirror**)».

Окрім цього в AutoCAD можливо відобразити об'єкт відносно площини, яку обирає користувач.

В цьому випадку використовують спеціальну команду «3DЗеркало (**mirror3d**)».

Площину відображення можливо задати:

- трьома точками;
- обранням плоского об'єкта;
- обранням останньої площини відображення;
- обранням початку осі Z та її напрямку – площина відображення співпадає з площиною XY;
- обранням площини, яка паралельна площині виду на поточному екрані виду;
- обранням площин XY, XZ, YZ поточної СКК.

## 10.4 «Подобие»

Команда **«Подобие (offset)»** використовується лише для плоских об'єктів. Для областей використовувати цю команду не можливо.

Деяка подібність команди **«Подобие»** є з опцією Сместить грани (**Offset face**) команди Редактирования тел (**Solids Editing**).

## 10.5 «Массив»

Для створення масивів 3D об'єктів з розташуванням їх в площині XY використовують стандартну команду **«Массив (array)»**.

Команда **«3D Массив (3darray)»** створює тривимірні прямокутні та кругові масиви.

Тривимірні прямокутні масиви будуються з рядів, стовпців та поверхів. Ряди формуються паралельно осі X; стовпці – паралельно осі Y; поверхи – паралельно осі Z. Осі координат визначаються у поточній системі координат.

При заданні додатних відстаней створення масиву відбувається впродовж додатних напрямків осей X, Y, Z.

Осі координат визначаються в поточній системі координат, тому необхідно перед виконанням команди правильно обрати СКК.

Тривимірний круговий масив можливо створити й командою **«Массив (array)»**, для цього необхідно правильно розташувати площину побудови XY. Але не завжди вдається правильно обрати площину XY.

Аби облегшити побудови, використовують **«3D Массив (3darray)»**. При виконанні цієї команди задають центральну точку масиву та ось обертання. Зручно для обрання центру масиву та осі обертання використовувати об'єктну прив'язку.

Для обертання за стрілкою годинника кут заповнення уводиться від'ємним, проти – додатним.

## 10.6 «Перенести»

Виконання команди «**Перенести (move)**» не відрізняється від виконання на площині. Базову точку та точку переміщення задають тривимірними.

## 10.7 «Повернуть»

Якщо необхідно повернути об'єкти відносно будь-якої осі у просторі, застосовують «**3D Поворот (rotate3d)**».

Ось повороту задають декількома способами. За замовчуванням ось задають, обравши дві точки у просторі.

При обранні опції «**Об'єкт**»– площина повороту задається відрізком, колом, дугою;

«**последняя**»– ось повороту співпадає з осю при останньому виконанні команди;

**Хось, Yось, Zось** – суміщення осі повороту з осю X, Y, Z поточної СКК;

«**вид**»– ось повороту суміщається з напрямом погляду на поточному екрані виду та проходить через додаткову точку.

При обранні опцій **Хось, Yось, Zось** в якості осі повороту необхідно задавати додаткову точку, в яку умовно переноситься обрана ось. Додатний напрямок визначається напрямом осей поточної СКК.

При обранні точок, які визначаються опціями, необхідно користуватися об'єктною прив'язкою, щоб виключити помилки.

## 10.8 «Масштаб»

При виконанні команди «**Масштаб (scale)**» над тривимірними об'єктами зміна розмірів відбувається по всім трьом напрямам. Слід уважно обирати базову точку, пам'ятаючи, що відстань між об'єктами також змінюється.

### 10.9 «Растянуть»

Команду «**Растянуть (stretch)**» застосовувати до тіл не можливо. При використанні команди тіла обираються повністю й переносяться.

### 10.10 «Увеличить»

Команда «**Увеличить (lengthen)**» застосовується тільки до 2D об'єктів.

### 10.11 «Обрезать»

Команда «**Обрезать (trim)**» застосовується тільки до двовимірних об'єктів. При обранні опції «**Проекция**» зі списком підопцій можливо працювати у просторі.

### 10.12 «Удлинить»

Команду «**Удлинить (extend)**» можливо використовувати у просторі з тими ж опціями, що й команду «**Обрезать (trim)**».

### 10.13 «Разорвать»

Команду «**Разорвать (break)**» використовують для розриву плоских об'єктів.

### 10.14 «Фаска»

Команду «**Фаска (chamfer)**» можливо застосувати для зняття фасок з твердотілого об'єкту.

При виконанні команди необхідно обрати базову поверхню.

Базова поверхня – це грань тіла, яка обмежується ребрами, на яких можливо створити фаску.

Перша довжина фаски буде відкладатися на базовій поверхні (грані), а друга – на грані, яка суміжна з обранною.

### 10.15 «Сопряжение»

У 3D моделюванні команду «Сопряжение (fillet)» зручно використовувати для створення гладких ребер.

Аби сполучити суміжні грані тіла, необхідно обрати ребро, яке належить обом граням.

### 10.16 «Расчленить»

Якщо команду «Расчленить (explode)» застосувати до тіл, то його плоскі грані перетворяться в області, а криволінійні – в будь-які ACIS тіла.

ACIS тіла також можливо розчленити. При цьому вони перетворюються в прості об'єкти – відрізки, дуги, кола або сплайни.

### 10.17 «Выровнять»

Команда «Выровнять (align)» потужний засіб зміни взаємного положення об'єктів на площині й у просторі. При виконанні цієї команди за один раз можливо перенести об'єкти у просторі, виконати просторовий поворот в декількох площинах, а також змінити масштаб об'єкта.

Специфіка цієї команди у тому, що параметри перетворення задаються через положення двох об'єктів – об'єкта, який вирівнюється, та об'єкта, за яким виконується вирівнювання.

Вирівнювання виконується з використанням однієї пари точок, двох пар точок або трьох пар точок.

При використанні тільки однієї пари точок відбувається лише переміщення обраних для вирівнювання об'єктів на площині або у просторі на відстань, яка задається точками.

Вирівнювання по двом парам точок дозволяє перемістити й повернути обрані об'єкти.

Перша пара точок (вихідна та цільова) задає базову точку вирівнювання, а друга пара визначає кут повороту.

Після задання другої пари точок AutoCAD надає можливість виконати масштабування об'єктів. Операція масштабування можлива тільки при вирівнюванні по двом парам точок.

При використанні трьох пар вихідних та цільових точок призводить до переміщення та повороту по двом напрямкам у просторі.

Ця команда зручна, коли кути повороту об'єктів у просторі невідомі.

При виконанні операції вирівнювання слід обов'язково використовувати об'єкту прив'язку.

#### Питання для самоконтролю

1. Які команди використовуються для редагування як двовимірного простору так і при редагуванні твердотілих об'єктів?
2. Яка особливість виконання команди «**Стереть (erase)**» в 3D просторі?
3. Як відобразити об'єкт відносно площини, яку обирає користувач при виконанні команди «**Зеркало (mirror)**»?
4. У чому особливість виконання команди «**Подобие (offset)**» в 3D просторі?
5. Як задати осі при виконанні команди «**3D Поворот (rotate3d)**»?
6. Які команди редагування можна використовувати тільки в 2D просторі?
7. Які можливості команди «**Вировнять (align)**» в 3D просторі?

## ТЕМА 11

# ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ КРЕСЛЕНИКІВ В ТРИВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ

### *Зміст теми:*

- 11.1 Тривимірні полілінії
- 11.2 Тонування
- 11.3 Грані й багатокутні мережі
- 11.4 Області

### **11.1 Тривимірні полілінії**

Особливим тривимірним об'єктом є тривимірна полілінія, яка складається зі зв'язаних прямолінійних сегментів, але вершини сегментів можуть мати будь-які координати тривимірного простору. Тривимірна полілінія, на відміну від двовимірної, не лежить, як правило, у єдиній площині тривимірного простору й будується за допомогою команди «**3DPOLY (3-ПЛИНИЯ)**». Перший запит цієї команди: «**Specify start point of polyline:** (Начальная точка полилинии:)» Потрібно вказати тривимірну точку, яка стане початковою точкою полілінії. Далі видається повторюваний запит: «**Specify endpoint of line or [Undo]:** (Конечная точка сегмента или [Отменить/:])»

Після вказівки третьої точки форма запиту небагато змінюється, тому що додається опція замикання: «**Specify endpoint of line or [Close/Undo]:** (Конечная точка сегмента {Замкнуть/Отменить}:)» Завершується введення точок або натисканням клавіші <Enter>, або опцією «**Close** (Замкнуть)». Для редагування тривимірних поліліній використовується та ж команда «**PEDIT (ПОЛПРЕД)**», що й для двовимірних поліліній. Але запит опцій редагування для тривимірної лінії трохи бідніше: «**Enter an option [Close/Edit vertex/Spline curve/Decurve/Undo/exit]:** (Задайте опцию [Замкнуть/Вершина/СПлайн/Убрать сглаживание/Отменить])»

## 11.2 Тонування

Для реалістичного відображення тривимірних моделей у системі AutoCAD передбачено кілька операцій. У команді «**DVIEW (ДВИД)**» передбачена опція для приховання невидимих ліній. Команда «**3DORBIT (3-ОРБИТА)**» дозволяє користуватися розфарбовуванням об'єктів. Аналогічні можливості надає пункт «**Shade (Раскрашивание)**» падаючого меню «**View (Вид)**». Усі види розфарбовування зібрані також як кнопки в панелі інструментів «**Shade (Раскрашивание)**» (Рисунок 5.1). Ці кнопки є опціями команди «**SHADEMODE (РЕЖИМРАСКР)**».















Рисунок 11.1 - Панель інструментів *Shade*



Більш цікавою можливістю одержання реалістичних зображень тривимірних об'єктів є операція тонування. Тонування дає можливість крім звичайного віддаленого джерела висвітлення, промені якого спрямовані перпендикулярно екрану, використовувати й інші — точкові і прожектори. Поверхням об'єктів можна призначати властивості матеріалів. У якості спеціальних ефектів можливі туман і фон (у тому числі з готового растрового зображення). Операції тонування з'явилися в системі після інтеграції AutoCAD з існуючим раніше пакетом Auto Vision. Важливо відзначити, що в системі AutoCAD розфарбовані й тоновані види можуть виводитися на друк. Усі команди тонування зібрані в пункті «**Render (Тонирование)**» падаючого меню «**View (Вид)**», а також в однойменній панелі інструментів «**Render (Тонирование)**» (Рисунок 5.2).



Рисунок 11.2 - Панель інструментів *Render*

Ця панель має наступні кнопки:

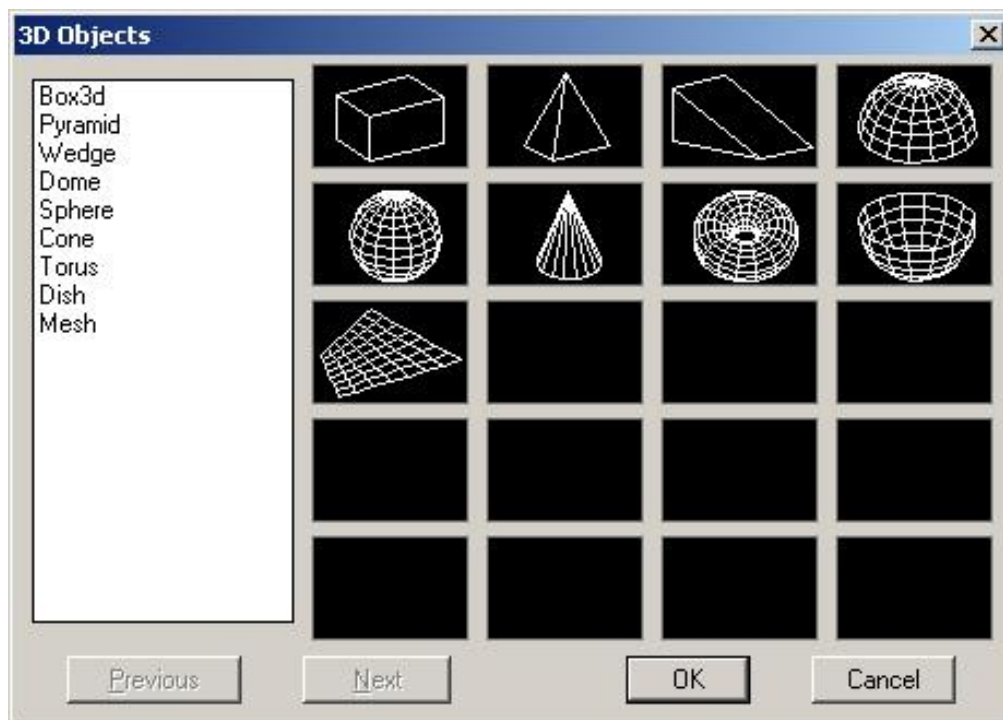
-  — зображення тривимірної моделі з придушенням прихованих ліній (команда «HIDE (СКРЫТЬ)»);
-  — виконання реалістичного тонованого зображення тривимірної моделі (команда «RENDER (ТОНИРОВАТЬ)»);
-  — управління сценами (сцена - сукупність виду і джерел освітлення) в просторі моделі (команда «SCENE (СЦЕНА)»);
-  — управління джерелами освітлення (команда «СВЕТ (LIGHT)»);
-  — управління матеріалами (команда «RМAT (МАТЕРИАЛ)»);
-  — імпорт і експорт матеріалів (команда «МАТЛІВ (БИБМАТ)»);
-  — накладення текстур (прив'язка матеріалів до поверхні, команда «SETUV (НАЛТЕК)»);
-  — завдання фону (команда «BACKGROUND (ФОН)»);
-  — управління туманом (команда «FOG (ТУМАН)»);
-  — вставка елементів ландшафту (зображень кущів, дерев, людей тощо., команда «LSNEW (ЛАНДНОВЫЙ)»);
-  — редагування елементів ландшафту (команда «LSEdit (ЛАНДРЕД)»);
-  — виконання роботи з бібліотекою елементів ландшафту (команда «LSLIB (ЛАНДБИБ)»);


-  завдання режимів тонування (команда «RPREF (РЕЖИМТОН)»);
-  виведення статистичних даних про тонування (команда «STATS (СТАТ)»).


### 11.3 Грані й багатокутні мережі

Для того щоб при тонуванні поверхні об'єктів були непрозорими, вони повинні бути створені спеціальним чином. У циліндра (видавленого кола) всі поверхні в режимі двовимірного каркаса є непрозорими при приховуванні невидимих ліній, а ось у видавленої полілінії в формі прямокутника непрозорі тільки бічні стінки. Сам прямокутник не є суцільним плоским об'єктом і фактично має тільки контур, без начинки. Для непрозорих трикутників і чотирикутників в AutoCAD є спеціальний об'єкт - грань. Безперервно розташовані межі можуть об'єднуватися в "мережу". Поверхні дуже багатьох тривимірних об'єктів можуть бути представлені у вигляді мереж. Мережа хоча і є наближеним представленням об'єкта, але дає досить багато інформації про його форму і розміри. Для прикладу виберемо пункт в падаючому меню «**Draw | Surfaces | 3D Surfaces** (Рисование | Поверхности 3М поверхности)». На екрані з'явиться діалогове вікно «**3D Objects** (3М объекты)» (Рисунок 5.3).

У цьому вікні доступні 9 об'єктів («**Box3d** (3М ящик)»). «**Pyramid** (Піраміда)», «**Wedge** (Клин)», «**Dome** (Купол)», «**Sphere** (Сфера)», «**Cone** (Конус)», «**Torus** (Тор)», «**Dish** (Чаша)» и «**Mesh** (Сеть)»), які після завдання параметрів будуть побудовані в поточному рисунку поверхнями у вигляді мереж з чотирикутними і трикутними осередками. Всі клітини (осередки) таких поверхонь непрозорі для операцій усунення невидимих ліній, розфарбовування і тонування.

Рисунок 11.3 - Діалогове вікно *3D Objects*Рисунок 11.4 - Панель інструментів *Surfaces*

В панелі інструментів «**Surfaces** (Поверхности)» (Рисунок 5.4) зібрані кнопки всіх основних операцій з гранями і мережами. Розглянемо кнопки цієї панелі. Перша кнопка  викликає команду малювання плоских чотирикутників «SOLID

(ФИГУРА)». Команда будує примітиви, які називаються «**SOLID (ФИГУРА)**». Фігури володіють додатковою властивістю - вони є непрозорими, завдяки чому їх кнопка включена в панель «**Surfaces (Поверхности)**». Фігура є плоским (двовимірним) об'єктом і розташовується в площині, паралельній площині XY поточної системи координат. Команда «**3DFACE (3-ГРАНЬ)**», якій відповідає кнопка  панелі інструментів «**Surfaces (Поверхности)**» і пункт падаючого меню «**Draw | Surfaces | 3D Face (Рисование | Поверхность 3М грань)**», будує також чотирикутні примітиви, але вони є вже тривимірними об'єктами, вершини яких можуть не лежати в одній площині. Перший запит команди «**3DFACE (3-ГРАНЬ)**» виглядає так: «**Specify first point or [Invisible]:** (Первая точка или (Невидимая):»

Якщо вибрати опцію «**Invisible (Невидимая)**», то кромка межі, що йде з першої точки до другої, буде невидимою (це корисно в тривимірних моделях). Після вибору цієї опції AutoCAD повторить запит першої точки. Якщо задана перша точка, то виводиться наступний запит: «**Specify second point or [Invisible]:** (Вторая точка или [Невидимая]:)» Тут вибір опції «**Invisible (Невидимая)**» буде означати, що кромка між другою і третьою точками буде невидимою.

Після введення другої точки: «**Specify third point or [Invisible] <exit>:** (Третья точка или [Невидимая] <выход>:))» Якщо в цей момент натиснути клавішу <Enter>, то команда закінчить свою роботу. Далі після введення третьої точки: «**Specify fourth point or [Invisible] <create three-sided face>:** (Четвертая точка или [Невидимая! <создать треугольную грань>:))» У цей момент натискання клавіші <Enter> створює трикутну грань (тобто четверта і третя вершини збіглися). А після вказівки четвертої точки знову видається запит про третю точку (в якості першої і другої точок наступної межі будуть взяті третя і четверта точки попередньої). Якщо неправильно задано обхід вершин грані, то грань може вийти перекрученою. В цьому випадку потрібно поміняти місцями третю і четверту точки. Грані можна редагувати за допомогою ручок. Можливі межі, всі кромки яких невидимі, проте при приховуванні невидимих ліній такі межі закриватимуть розташовані під ними об'єкти.

Команда «EDGE (КРОМКА)», якій відповідає кнопка панелі інструментів «**Surfaces** (Поверхности)», дає можливість змінювати видимість кромки граней і мереж. Зручним засобом зміни видимості кромки є вікно «**Properties** (Свойства)». Кнопки панелі інструментів «**Surface** (Поверхности)» дозволяють будувати мережі стандартної форми (ящик, клин, піраміда, конус, сфера, купол, чаша, тор) - такі ж, що і з допомогою діалогового вікна «**3D Objects** (3D объекты)».

Мережі - це більш складні об'єкти, ніж грані. Якщо мережу розчленувати за допомогою команди «**EXPLODE** (РАСЧЛЕНИТЬ)», то вона розпадеться на грані, причому з одного осередку мережі вийде одна грань (кожна грань матиме одну кромку з сусідньої гранню). Всі мережі стандартної форми будуються щодо поточної площині побудов, тому перед тим як приступити до створення подібного об'єкта, не забудьте перейти в необхідну ПСК. Побудова восьми стандартних поверхонь може бути виконано не тільки за допомогою вищезазначених восьми кнопок панелі інструментів «**Surfaces** (Поверхности)», але і за допомогою команди 3D (ЗМ), яка будує всі ці об'єкти.

Розглянемо побудову стандартної поверхні на прикладі прямокутного паралелепіпеда - ящика (побудова інших поверхонь виконується аналогічно).

Після виклику команди 3D (ЗМ) з'являється перший запит: «Select option [Box/Cone/DIsh/DOME/Mesh/ Pyramid/Sphere/Torus/Wedge]: (Задайте-Ящик/КОНус/ЧАша/КУпол/СЕТЬ/Пирамида/С Фера/Тор/КЛин]:)»

Виберіть опцію «Box (Ящик)». Слідуючий запит: «Specify corner point of box; (Угловая точка ящика:)» Вкажіть точку першого кута. далі: «Specify length of box: (Длина ящика:)» Вкажіть довжину введенням числа або точки. Потім: «Specify width of box or [Cube]: (Ширина ящика или {Куб/})» Потрібно ввести ширину числом або точкою або вибрати опцію «Cube (Куб)». Якщо ширина задана, тобто ящик, що будується не є кубом, то потрібен додатковий запит: «Specify height of box: (Высота ящика:)» Тепер всі розміри визначені, але можна ще повернути ящик навколо осі Z. Наступний запит: «Specify rotation angle of box about the Z axis

or [Reference]: (Угол поворота ящика вокруг оси Z или /Опорный угол:]» Після завдання кута будується замкнута мережа у формі ящика.

На рисунку 5.5 наведено приклад ящика, повернутого на  $-25^\circ$  навколо осі Z (також виконано приховування невидимих ліній).

У загальному випадку мережа - це об'єкт, у якого вздовж одного напрямку є певна кількість точок (M), а вздовж іншого напрямку - інша задана кількість точок (N). Ці напрямки так і прийнято називати - M-напрямок і N-напрямок. Відповідно загальна кількість осередків є добуток (M - 1) на (N - 1). Мережі можуть бути незамкнутими і замкнутими, причому замикання може бути по одному або двох напрямках. Мережу, не замкнута по якомусь напрямку, може бути замкнута за допомогою команди «PEDIT (ПОЛПРЕД)», так як ця команда редагує не тільки на полілінії, але і мережі (які у внутрішньому представленні у системі AutoCAD є примітивами POLYLINE).

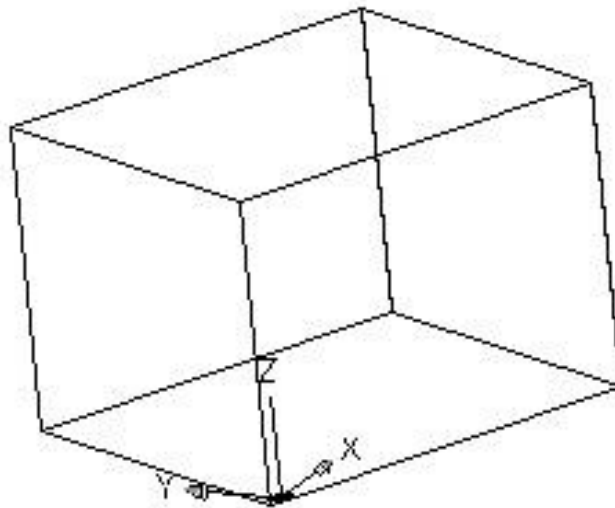



Рисунок 11.5 - Побудова стандартної мережі у формі ящика

## 11.4 Области

Область - це двовимірний об'єкт, який обмежений замкнутим контуром і має внутрішність. В області можуть бути присутніми отвори. Області можна вичитати і складати. Вони непрозорі (крім ділянок, які є отворами). Аналогом області є тонка листовая деталь, у якій можуть бути вирізи. Але найголовніше - області можуть використовуватися для побудови тіл складної форми (за допомогою видавлювання і обертання). Будь-який плоский замкнутий контур (коло, замкнута полілінія, відрізки у формі замкнутої ламаної і інші подібні до них об'єкти) можна зробити областю. Для цього використовується команда «REGION (ОБЛАСТЬ)», якій відповідає кнопка  панелі інструментів «**Draw** (Рисование)» і пункт «**Region** (Область)» падаючого меню «**Draw** (Рисование)». Команда «REGION (ОБЛАСТЬ)» запитує об'єкти і після закінчення їх вибору повідомляє про кількість створених областей. Однією командою може бути створено декілька областей, якщо зазначені користувачем об'єкти задовольняють необхідним вимогам.

На рисунку 5.6 показані приклади трьох контурів, які можуть бути перетворені у області. У той же час чотири відрізка у правій частині графічного екрана не можуть бути перетворені у область, так як не утворюють єдиного замкнутого контуру (їх потрібно попередньо обрізати).

Над областями можливі операції об'єднання, віднімання і перетинання. Кнопки цих операцій є першими трьома кнопками у панелі інструментів «**Solids**

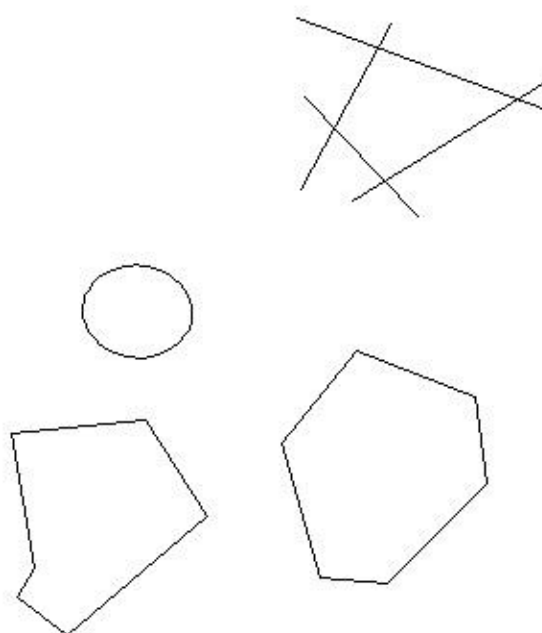



Рисунок 11.6 - Приклад трьох областей

**Editing** (Редактирование тел)» (Рисунок 5.7), оскільки такі ж операції дозволяються над тілами.



Рисунок 11.7 - Панель інструментів *Solids Editing*

На рисунку 5.8 показаний приклад об'єднання трьох областей у одну (зліва - об'єкти до об'єднання, справа - нова область). Відповідні засоби системи AutoCAD для об'єднання областей - це команда «UNION (ОБЪЕДИНЕНИЕ)» і кнопка  панелі інструментів «**Solids Editing** (Редактирование тел)».

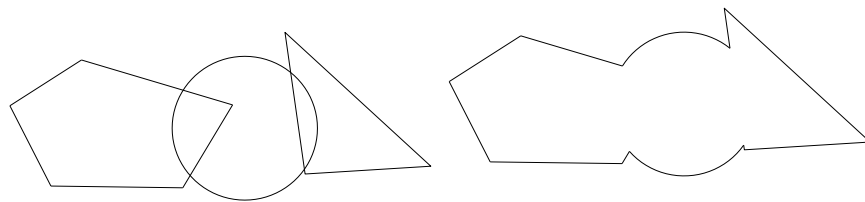


Рисунок 11.8 - Об'єднання областей

З рисунка видно, що області об'єднуються як плоскі множини. Трикутник всередині області справа є отвором. Область є єдиним об'єктом (навіть якщо має

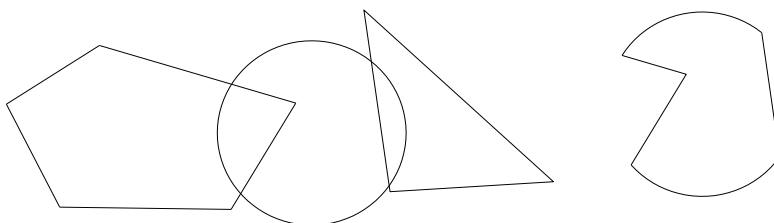



Рисунок 11.9 - Віднімання областей

вирізи або якщо об'єднуються непересічні об'єкти). На рисунку 5.9 наведено приклад віднімання областей.

Зліва показані три області до віднімання.

Праворуч - результат віднімання (із багатокутної області віднімаються дві

кругових). Нова область має один круглий виріз. Відповідні засоби системи AutoCAD — «SUBTRACT (ВЫЧИТАНИЕ)» и кнопка  панелі інструментів «**Solids Editing** (Редактирование тел)».

На рисунку 5.10 наведено приклад перетину трьох областей. Для операції перетину використовується команда «INTERSECT (ПЕРЕСЕЧЕНИЕ)» і відповідна їй кнопка панелі інструментів «**Solids Editing** Редактирование тел)».

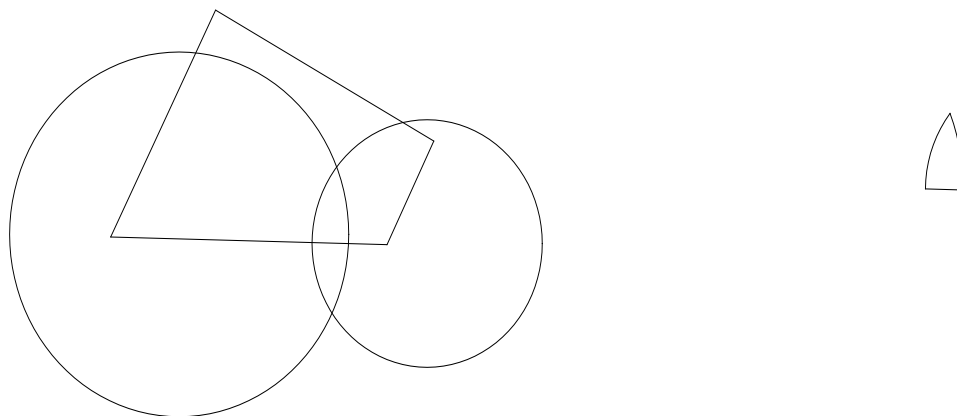


Рисунок 11.10 - Перетинання областей

Якщо об'єднати непересічні області, то утворюється область, що має багатозв'язаний зовнішній контур (вона подібна до блоку при операціях переміщення, копіювання і т.п.). Команда «EXPLODE (РАСЧЛЕНИТЬ)» розкладає область на прості примітиви (відрізки, дуги, кола, еліпси, сплайни).

#### Питання для самоконтролю

1. Що таке тривимірне полілінійне і яка команда для її побудови?
2. Для чого потрібне тонування тривимірних моделей?
3. Якою командою можна виконати тонування тривимірних моделей?

4. Особливості видавленої полілінії
5. Яку інформацію дає мережа про тривимірні моделі ?
6. Якою командою можна змінювати видимість кромek граней і мереж?
7. Що таке область в AutoCAD? Її призначення.
8. Які існують команди для об'єднання областей?
9. Які існують команди для віднімання областей?

## ТЕМА 12

### АВТОМАТИЧНЕ СТВОРЕННЯ ЕКРАНІВ ВИДІВ ТА ОРТОГОНАЛЬНИХ ПРОЄКЦІЙ

#### *Зміст теми:*

- 12.1 Створення екранів видів командою «Т-вид»
  - 12.1.1 Призначення команди «Т-вид»
  - 12.1.2 Створення першого виду
  - 12.1.3 Створення ортогонального виду
  - 12.1.4 Створення додаткових видів
  - 12.1.5 Створення виду для побудови перетину
- 12.2 Створення проєкцій та перетинів командою «Т-рисование»
  - 12.2.1 Призначення команди «Т-рисование»
  - 12.2.2 Підготовчі операції
  - 12.2.3 Обробка видів

В AutoCAD є декілька програм, які полегшують компоновку креслеників тривимірних моделей у просторі Листа. Піктограми їх виклику знаходяться на «Тела (Solids)».

Ці програми дозволяють

- Автоматично формувати екрани видів багатовиглядових малюнків та перетинів твердотілих об'єктів та ACIS-тіл – команда «Т-вид (solview)»;
- Автоматично будувати проєкції та перетини тіл на екранах видів, які створенні командою «Т-вид (solview)» – це команда «Т-рисование (soldraw)».

## 12.1 Створення екранів видів командою «Т-вид»

### 12.1.1 Призначення команди «Т-вид»

Команда «**Т-вид (solview)**» дозволяє автоматично сформувати екрани видів та настроїти в них стандартні види тіл, які створенні у просторі Моделі. Також за допомогою цієї команди можливо підготувати вид для створення перетинів тіл, а також додаткових видів моделі. Під додатковим видом мається на увазі будь-які не ортогональні, похилі види.

Під час виконання команди створюються екрани видів, в яких виводяться види об'єктів. Для кожного створеного екрану виду зберігається інформація про екран. Ця інформація використовується потім командою «**Т-рисование (soldraw)**» для створення завершальних видів або розрізів.

Екрани видів, які створенні командою «**Т-вид (solview)**», розміщуються на шарі **vports**.

Команда «**Т-вид (solview)**» для кожного екрану виду створює декілька нових шарів, які потім використовуються командою «**Т-рисование (soldraw)**» для розміщення видимих та невидимих ліній, а також для створення штриховок на перетинах. Створюються також шари для розміщення розмірів окремо для кожного екрану виду. Назва шару складається з двох частин. Перша частина – Назва виду, яке задане під час виконання команди «**Т-вид (solview)**». Друга частина – скорочена назва типу шару, яка має наступне призначення:

**Назва шару-VIS**– створення видимих ліній;

**Назва шару-HID**– створення невидимих ліній;

**Назва шару-DIM**– простановка розмірів;

**Назва шару-HAT**– створення штриховки для перетинів.

Шар **Назва шару-HAT** створюється тільки для видів, які готуються для створення перетинів.

### 12.1.2 Створення першого виду

Команда «**Т-вид (solview)**» не має опції, яка встановлюється за замовчування, тому після виклику йде запит обрати одну з опцій побудови виду.

Починати роботу необхідно з опції «**Пск (Usc)**», тому що наступні види будуються на основі цього виду. Якщо ви обрали іншу опцію AutoCAD видасть попередження та запропонує повторно задати опцію.

Якщо обрана опція «**Пск (Usc)**», то система запропонує обрати СКК, на основі якої буде створено перший вид. За замовчуванням пропонується опція «**Текущая (Current)**».

Після визначення СКК AutoCAD запросить задати масштаб для виду, що створюється. Масштаб задається, як коефіцієнт збільшення зображення виду відносно простору Моделі, тобто, якщо потрібно зменшити зображення виду вводиться коефіцієнт, який менший за 1, якщо збільшити – більший за 1. Масштабний коефіцієнт в подальшому можливо змінити, використовуючи палітру «**Свойства (Properties)**».

У наступному запиті про центр виду необхідно вказати точку на листі, де буде розташований центр виду. Запит про центр виду буде повторюватися поки не буде натиснута клавіша *Enter* або права кнопка миші.

Після цього задають межі екрану виду.

У останньому запиті присвоюють назву виду. Назву краще давати, яка логічно пов'язана з видом, наприклад, *front*, *left* та ін.

У результаті буде створено екран виду, який відповідає проєкції об'єкта на площину, яка паралельна площині XY, обраної СКК.

Команда циклічна, знов виводиться запит на обрання опції створення екранів видів. Аби завершити роботу необхідно натиснути клавішу *Enter*.

### 12.1.3 Створення ортогонального виду

Опція «**Орто (Ortho)**» на основі виду «**Пск (Usc)**» дозволяє створити стандартні ортогональні види.

Після виклику команди та обрання опції **«Орто (Ortho)»**, на запит про обрання сторони екрану виду, необхідно вказати сторону екрану виду, який створений опцією **«Пск (Use)»**. При обранні цієї опції автоматично включається об'єктна прив'язка **«Середина (Midpoint)»**, яка полегшує вибір середини сторони екрану виду.

Якщо показано середину сторони екрану, створюється лінія від точки вибору до перехресття курсору, яка допомагає визначити центр нового виду.

Центр нового виду визначається після того, як указали точку та натиснули клавішу *Enter*.

Після цього задають межі екрану. Виду присвоюють назву. Завершують роботу команду натиснувши клавішу *Enter*.

#### **12.1.4 Створення додаткових видів**

Опція **«Дополнительный (Auxiliary)»** дозволяє на основі виду **«Пск (Use)»** або іншого створити похилі (не ортогональні) види.

Після обрання опції виводиться запит про обрання першої точки похилої площини.

Потрібно активізувати екран виду, з якого можливо обрати необхідний вид. Використовуючи об'єктну прив'язку, обирають першу точку створення похилої площини. На наступний запит задають другу точку, яка задає похилу площину.

Обидві точки обирають в одному екрані. Після обрання другої точки AutoCAD створює похилу площину, яку відображає пунктирною лінією та виводить запит про сторону перегляду.

Необхідно вказати точку на виді. Вона визначить напрям погляду на об'єкт.

Далі йдуть запити на визначення центру, меж та назви виду.

### 12.1.5 Створення виду для побудови перетину

Для того, аби командою «**Т-рисование (soldraw)**» автоматично створити перетин тіла, необхідно підготувати відповідний вид. Для цього використовується опція «**Сечение (Section)**».

Після обрання опції йде запит про обрання першої точки січної площини.

Задають першу точку січної площини на виді, який вже створено. Позначивши другу точку на запит про другу точку січної площини, визначають січну площину.

На наступний запит визначають сторону січної площини, яка буде використана для проєкціювання нового виду.

Визначають масштаб, центр, межі та назву виду.

Використовуючи опції команди **Т-вид (solview)**, можливо підготувати види для автоматичного створення проєкцій та перетинів тіл.

## 12.2 Створення проєкцій та перетинів командою «Т-рисование»

### 12.2.1 Призначення команди «Т-рисование»

Команда «**Т-рисование (soldraw)**» дозволяє, використовуючи види, які створені командою «**Т-вид (solview)**», автоматично отримати плоскі проєкції тіл, а також створити перетини тіл зі штриховкою. Для побудови плоских об'єктів, у тому числі й штриховок на перетинах, вона використовує шари, які створені командою «**Т-вид (solview)**».

Команда «**Т-рисование (soldraw)**» може обробляти тільки екрани видів, які побудовані командою «**Т-вид (solview)**».

На проєкціях, які створює команда «**Т-рисование (soldraw)**», автоматично розташовуються лінії невидимого контуру на шарі «**Назва шару-НІД**», видимі лінії - на шарі «**Назва шару-VIS**», штриховка – на спеціальному шарі «**Назва шару-НАТ**».

### 12.2.2 Підготовчі операції

Перед побудовою проєкцій командою «**Т-рисование (soldraw)**», бажано виконати наступні підготовчі операції:

- встановити для шарів типу **Назва шару-HID** тип лінії штриховий;
- встановити для шарів типу **Назва шару-VIS** товщину лінії, яка дорівнює 0,6-0,8 мм;
- визначитися з кольором шарів;
- встановити поточним зразок штриховки, який потрібен у даному типі перетину.

Зміни властивості названих шарів можливо й після створення проєкцій командою «**Т-рисование (soldraw)**».

При використанні команди «**Т-рисование (soldraw)**» AutoCAD автоматично визначається, на якому шарі розташувати лінії видимого та невидимого контуру, а також штриховок. Тому користувачу не потрібно самому керувати шарами. Це значною мірою спрощує роботу по створенню проєкцій та перетинів.

Слід пам'ятати, що після обробки екранів видів командою «**Т-рисование (soldraw)**», у ньому будуть показані тільки плоскі об'єкти, тривимірне тіло буде видалено.

### 12.2.3 Обробка видів

Після обрання команди «**Т-рисование (soldraw)**» йде запит на обрання екранів видів. Необхідно обрати екрани, в яких потрібно створити проєкції. Якщо обрано екран, який створений не командою «**Т-вид (solview)**», система повідомить про помилку та завершить виконання команди.

За один виклик команда може обробляти декілька екранів.

На екранах, які створенні опцією «**Сечение (Section)**» видаляються невидимі лінії та створюється штриховка.

Проставити розміри на шарах типу **Назва шару-DIM** можливо тільки в ручному режимі, використовуючи стандартні команди нанесення розмірів.

Якщо нанести розміри в шарах, які створені не командою «**T-вид (solview)**», потрібно буде сховати їх видимість в інших екранах видів, на інших проєкціях.

#### Питання для самоконтролю

1. Можливості команди «**T-вид (solview)**».
2. Для чого створюють шари в тривимірному просторі?
3. Як створити потрібний вид в 3D просторі?
4. Для чого потрібно створення **додаєткових видів**?
5. Призначення команди «**T-рисование (soldraw)**».
6. Які підготовчі операції треба провести перед побудовою проєкцій командою «**T-рисование (soldraw)**»?

## ТЕМА 13

### ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### *Зміст теми:*

- 13.1 Загальні положення
- 13.2 Схеми автоматизації. Призначення схем автоматизації та загальні принципи їх виконання
- 13.3 Розміщення зображень приладів та засобів автоматизації на схемі автоматизації
- 13.4 Позиційні позначення на схемах автоматизації
- 13.5 Вимоги до оформлення та приклади виконання схем автоматизації технологічних процесів

#### **13.1 Загальні положення**

Завданням проектування систем автоматизації технологічних процесів і виробництв є розроблення комплексу проектної документації необхідної для обґрунтування, оцінювання, комплектування, будови, монтажу, налагодження і експлуатації автоматизованої системи управління. Результатом проектування є проект, загальними вимогами до якого є: цільова спрямованість, чіткість побудови, логічна послідовність викладення матеріалу, глибина дослідження і повнота висвітлення питань, переконливість аргументації, стислість і точність формулювання, конкретність викладення результатів роботи, доведеність висновків і обґрунтованість рекомендацій, грамотне оформлення.

Проект розробляється в декілька стадій, необхідна кількість яких визначається для кожного конкретного випадку. Більшість проектних робіт проводяться в три стадії:

- технічне завдання (ТЗ);
- технічний проект (ТП);

– робоча документація (РД).

На кожній із стадій формується проєктна документація, яка складається з текстових і графічних матеріалів, у яких відображені принципові технічні рішення, витрати та економічна ефективність від впровадження автоматизації. У технічному завданні формуються вихідні дані до проєкта, зокрема це загальний опис об'єкта, вимоги до проєктованої системи, порядок введення в експлуатацію та ін. Технічний проєкт вміщує загальну (структуру) інформацію про розроблювану систему, достатню для того, щоб замовити чи розробити необхідне для системи автоматизації обладнання та сформувавши вимоги до суміжних робіт (наприклад, на спорудження операторських, забезпечення системи електропостачанням і т.д.). Робоча документація – це повний комплект документів, необхідний для проведення монтажних робіт, тобто реалізації системи управління.

Текстові матеріали складаються із загальної пояснювальної записки, яка може включати: вихідні дані для проєктування; коротку характеристику об'єкта, для якого проєктується автоматизація; обґрунтування прийнятих проєктних рішень по вибору автоматичного регулювання, управління і сигналізації; обґрунтування використання несерійної апаратури, щитів і пультів; відповідності проєкту діючим нормам і правилам проєктування, в тому числі з вибухо- і пожежобезпечності; замовні специфікації на прилади, арматуру і кабельну продукцію; техніко-економічну частину, до якої входять обґрунтування основних техніко-економічних показників. Графічні матеріали можуть включати: схеми автоматизації технологічний процесів, для яких виконується проєкт автоматизації; загальні види і плани розміщення щитів і пультів; структурні схеми з'єднань та підключень. Комплектність необхідних документів визначається для кожного проєкта окремо, залежно від складності об'єкта, нормативних вимог (галузевих та державних стандартів) та інших факторів.

### **13.2 Схеми автоматизації. (Призначення схем автоматизації та загальні принципи їх виконання)**

Одним з основних документів у проєктній документації є схема автоматизації. Це технологічна машино-апаратна схема виробничого об'єкта, на якій за допомогою умовних позначень зображують елементи системи автоматизації та зв'язки між ними, що в цілому визначає функції та принцип побудови системи автоматизації.

На схемах автоматизації зображують:

- 1) технологічне та інженерне обладнання і комунікації (трубопроводи, газоходи, повітропроводи) об'єкта, що автоматизується;
- 2) технічні засоби автоматизації, що утворюють контури контролю, регулювання, управління та сигналізації;
- 3) лінії зв'язку між окремими технічними засобами автоматизації або контурами.

Об'єктом керування в системах автоматизації технологічних процесів є сукупність основного та допоміжного устаткування, а також потоки енергії, сировини й інших матеріалів, що визначають особливості технологічного процесу.

Можна виділити таку послідовність вирішення основних інженерних завдань, які виникають при розробленні схем автоматизації.

**1. Аналіз технологічного процесу.** Розроблення ефективної СА можливе тільки на засадах глибоких знань технології виробництва, що автоматизується, його технологічного регламенту, конструктивних особливостей технологічного устаткування та режимів його роботи.

**2. Визначення інформації, необхідної для оцінювання стану об'єкта.** Аналіз технологічного процесу повинен визначити ті величини, інформація про які необхідна для оцінювання стану об'єкта автоматизації. Цей вибір має велике значення для подальшої побудови СА, тому що надлишкова інформація суттєво збільшує вартість системи, а недостатня може призвести до помилок у реалізації технологічного процесу. При цьому, враховуючи, що більшість об'єктів, які авто-

матизуються, є об'єктами з розподіленими параметрами, велика увага приділяється вибору точок для отримання інформації.

**3. Вибір каналів регулюючих дій.** Це завдання вирішують на підставі аналізу умов роботи технологічного устаткування, технологічного регламенту, сформованої мети керування, статичних і динамічних характеристик можливих каналів регулювання, виявлених законів та критеріїв керування об'єктом, а також вимог до точності стабілізації технологічних параметрів, показників якості регулювання і надійності.

На стадії вирішення цих завдань велика роль відводиться технологам, які мають більш ґрунтовні знання технології і можуть сформулювати вимоги до системи автоматизації. Це може бути реалізовано у вигляді таблиці, в якій можна сформулювати завдання на розроблення системи автоматизації, яке може бути покладено в основу розроблення технічного завдання.

Інформація, яка буде знаходитись в такій таблиці, крім визначення параметрів автоматичного контролю і управління для конкретного об'єкта автоматизації, містить вимоги до характеру контролю і управління, а також до точності вимірювання параметрів і показників якості процесу управління.

Для кожного параметра, який, на думку технолога, повинен бути включений до системи автоматизації, вказується місце відбору сигналу та його припустиме значення. Після цього визначається вид автоматизації, який пропонується застосовувати до нього. Це може бути: автоматичний контроль, автоматичне регулювання і завдання управління. Якщо оператор повинен мати можливість спостерігати за зміною параметра, то вибирається вид автоматизації – «контроль». При цьому можуть бути вибрані функції: «відображення», «реєстрація» і «сигналізація». У графі «засоби контролю і управління» бажано вказати, за допомогою яких засобів вони будуть реалізовані. Це можуть бути локальні засоби автоматизації (показуючи, реєструючи і сигналізуючи прилади), які можуть бути розташовані на щитах автоматизації, або ці функції будуть виконуватись на АРМі оператора.

Важливим також є вибір регулюючих дій у системі управління. Це можна проілюструвати дуже простим прикладом.

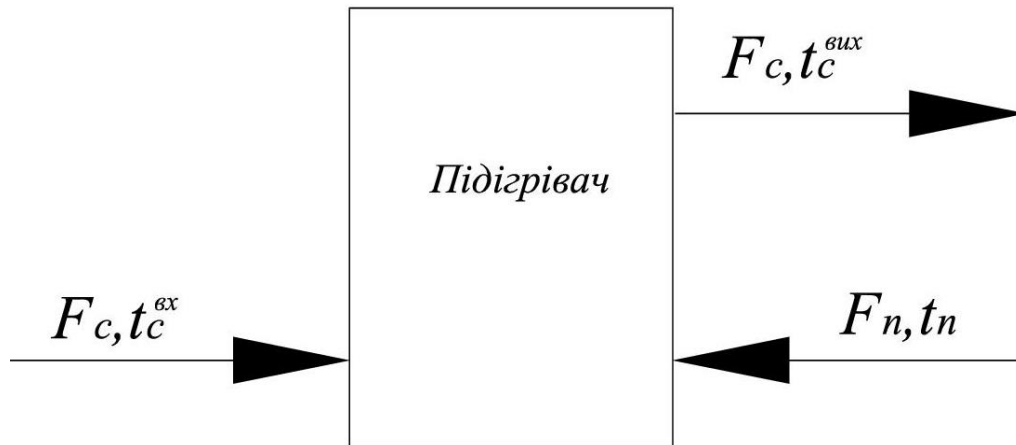


Рисунок 13.1 – Схема теплообмінника

Припустимо ми повинні вибрати систему регулювання температури на виході теплообмінника наведеного на рис. 13.1. На вхід підігрівача поступає рідина з витратою  $F_c$  і температурою  $t_c^{ex}$ . На виході з підігрівача необхідно отримати рідину із заданою температурою  $t_c^{exx}$ . Для підігрівання рідини в підігрівач подається пара з витратою  $F_n$  і температурою  $t_n$ .

Підтримати температуру на виході можна або зміною витрати рідини  $F_c$ , або зміною витрати пари  $F_n$ . З точки зору створення системи автоматизації ці рішення є наближено однаковими. Але в першому варіанті ми змінюватимемо витрату рідини, що впливатиме на роботу наступних апаратів і порушуватиме ритмічність роботи. Тому більш доцільно, з точки зору технологів, змінювати витрату пари. Саме тому для функції «регулювання» для кожного параметра важливо вказати, на що саме треба впливати при регулюванні. Функція управління вибирається при виконанні завдань дискретного управління: включення/відключення насосів, транспортерів, електроприводів та ін.

Після формування вимог до системи автоматизації переходять до розроблення самої системи, в процесі виконання якої вирішуються наступні завдання.

**4. Аналіз існуючих систем автоматизації.** Створюваний варіант СА повинен враховувати досвід розроблення аналогічних систем і повинен забезпечити

досягнення найкращих техніко-економічних показників серед існуючих СА подібних об'єктів. При цьому він повинен враховувати можливі перспективи модернізації систем автоматизації і необхідності вирішувати більш складні алгоритми управління.

**5. Вибір технічних засобів.** Це одне з найважливіших та складних завдань розроблення системи автоматизації. При цьому можна сформулювати деякі загальні принципи, якими слід керуватися в процесі розроблення схеми автоматизації:

1) рівень автоматизації технологічного процесу в кожен проміжок часу має визначатися не лише доцільністю впровадження певного комплексу технічних засобів та досягнутим рівнем науково-технічних розробок, а й перспективою модернізації та розвитку цих засобів;

2) під час розроблення схем автоматизації, а також вибираючи технічні засоби, слід враховувати: вид і характер технологічного процесу, умови пожежо- та вибухобезпеки, агресивність і токсичність навколишнього та робочого середовищ; параметри та фізико-хімічні властивості вимірюваного середовища; відстань від місця встановлення датчиків, допоміжних пристроїв, виконавчих механізмів, приводів машин та запірних органів до пунктів керування та контролю; потрібну точність та швидкодію засобів автоматизації;

3) систему автоматизації технологічних процесів потрібно будувати на базі засобів автоматизації та обчислювальної техніки, що виробляються серійно. Намагатися застосовувати однотипні засоби автоматизації і віддавати перевагу уніфікованим системам, які характеризуються простотою поєднання, взаємозамінністю та зручністю компонування на щитах керування. Використання однотипної апаратури дає значні переваги під час монтажу, налагодження, експлуатації, забезпечення запасними частинами тощо;

4) добираючи локальні засоби збирання та накопичення первинної інформації (автоматичні датчики), вторинні прилади, регулюючі та виконавчі пристрої використовувати переважно прилади та засоби автоматизації Державної системи промислових приладів і засобів автоматизації;

5) вибираючи засоби автоматизації, що використовують допоміжну енергію (електричну, пневматичну, гідравлічну), керуватися умовами пожежо- та вибухо-безпеки об'єкта, що автоматизується, агресивністю навколишнього природного середовища, вимогами до швидкодії, дальності передачі сигналів інформації та команд керування тощо;

б) обмежувати кількість приладів, апаратури керування і сигналізації, які монтуються на оперативних щитах і пультах. Надлишок апаратури ускладнює експлуатацію, відвертає увагу обслуговуючого персоналу від спостереження процесу, збільшує вартість установки, терміни монтажних та налагоджувальних робіт. Прилади і засоби автоматизації допоміжного призначення доцільніше розміщувати на окремих щитах поблизу технологічного устаткування.

Наведені принципи є загальними, але не вичерпними для всіх випадків, які можуть траплятися в практиці проектування систем автоматизації технологічних процесів. Однак для кожного конкретного випадку їх треба враховувати в технічному завданні на автоматизацію проєктованого об'єкта.

При побудові таких систем на базі промислових мікропроцесорних контролерів (МПК) додатково необхідно: вибрати тип МПК його конфігурацію а також засоби відображення інформації. У разі побудови автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора.

**Вибір місця розташування технічних засобів.** Певне місце розташування в будь-якій СА мають дві групи технічних засобів (ТЗА). Це ТЗА за допомогою яких безпосередньо отримують інформацію та формують управляючі дії і які розташовані на технологічному устаткуванні та трубопроводах: первинні виконавчі пристрої тощо. Група ТЗА, до якої входять перетворювачі та підсилювачі сигналів, розміщується «по місцю», тобто між технологічним обладнанням та пунктами управління об'єктом (ПУО). Розташування інших ТЗА виконується на спеціальних щитових конструкціях і пунктах управління і залежить від обраної структури системи автоматизації.

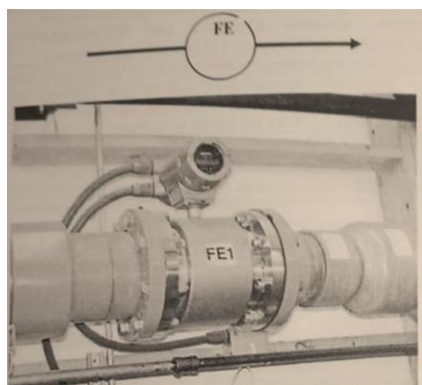
### 13.3 Розміщення зображень приладів та засобів автоматизації на схемі автоматизації

На схемі автоматизації прилади та засоби автоматизації показують на зображенні технологічного обладнання, трубопроводів та в прямокутниках, розміщених під технологічною схемою.

На технологічному обладнанні та трубопроводах зображують усі первинні перетворювачі, які необхідні для вимірювання технологічних параметрів.

Особливістю зображення цих елементів полягає в тому, що первинні перетворювачі зображують поза контуром відповідного технологічного устаткування, де відбувається вимірювання. Якщо необхідно акцентувати увагу на конкретному місці вимірювання, його зображення з'єднується з точкою вимірювання (в середині контуру технологічного апарата) тонкою лінією, на кінці якої зображують коло діаметром 2 мм. Якщо вимір відбувається в трубопроводі, то зображення первинного перетворювача розміщують поряд із зображенням комунікації і з'єднують його зображення з місцем виміру тонкою лінією без кола на кінці. Винятком є зображення первинного перетворювача витратоміра, яке вбудовують у зображення трубопроводу (рис. 13.2).

Винятком із цих правил є зображення приладів вимірювання тиску, відбірні пристрої яких не мають позначення PE. Тому на технологічній схемі зображуються тільки місце вимірювання тиску (коло діаметром 2 мм), яке з'єднується з приладом для вимірювання тиску, наприклад, перетворювачем РТ, позначення якого показується на технологічній схемі, або в прямокутнику «Прилади місцеві».



### Рисунок 13.2 - Датчик витратоміра, вбудованого в трубопровід

Крім того, на технологічних та енергетичних комунікаціях показують також регулюючі органи та виконавчі механізми, що механічно з'єднані між собою.

Уся інша апаратура системи автоматизації групується за принципом її розташування та зображується в прямокутниках, що відповідають цьому розташуванню: «Прилади місцеві», «Щит перетворювачів», «Щит управління», «Диспетчерський пункт» тощо. Комплектні пристрої (машини централізованого контролю, клерувальні машини, комплекти телемеханіки, промислові мікропроцесорні контролери тощо) також позначають на схемах автоматизації у вигляді прямокутників.

У прямокутнику «Прилади місцеві» зображують усі засоби системи автоматизації, що розташовані в місцевих щитах, а також на панелях, розміщених у безпосередній близькості від технологічного обладнання на стінах, колонах тощо. Зазвичай це магнітні пускачі, кнопці станції, опозиціонери, сигнальна арматура та ін.

Кількість та найменування прямокутників залежать від структури системи автоматизації та вибраної організаційної структури.

Щити, пульти керування на схемах автоматизації зображують умовно у вигляді прямокутників довільних розмірів (40 – 80 мм), достатніх для нанесення графічних умовних позначень приладів, що на них установлюються, засобів автоматизації, апаратури управління та сигналізації. З лівого боку всіх прямокутників на полі 15 мм проставляють відповідні написи: «Прилади місцеві», «Щит управління», «Диспетчерський пункт» тощо.

Функціональні зв'язки між первинними перетворювачами і засобами автоматизації, установленими на щитах та пультах, на схемах показують тонкими суцільними лініями. Кожен зв'язок позначають однією лінією незалежно від фактичної кількості проводів чи труб, якими здійснюється цей зв'язок. До умовних позначень приладів і засобів автоматизації лінії зв'язку допускається підводити з будь-якого боку, зокрема і під кутом. Лінії зв'язку мають бути найкоротшими, з

мінімальною кількістю перетинань. Допускається перетинання лініями зв'язку зображень технологічного устаткування і комунікацій, однак перетинання умовних позначень приладів і засобів автоматизації є неприпустимим. У разі необхідності для позначення напрямку руху сигналу на лініях зв'язку дозволяється наносити стрілки.

На функціональних лініях зв'язку, які йдуть від вимірювальних перетворювачів, вказуються гранично припустимі робочі значення вимірюваних і регульованих параметрів.

У процесі виконання схем автоматизації складних технологічних об'єктів для запобігання великої кількості перетинів дозволяється робити обрив лінії зв'язку. Кінці лінії зв'язку нумеруються однією й тією самою арабською цифрою, що називається адресою. Цифра, що позначає адресу, не має відношення до цифри, що позначає номер контуру. Кінці ліній зв'язку біля прямокутників і на технологічній схемі рекомендується розташовувати на одній лінії. Лінії зв'язку на технологічному обладнанні дозволяється обривати і виводити зверху, знизу чи збоку на одному рівні. Кінці лінії зв'язку біля прямокутників слід нумерувати цифрами в порядку зростання, зліва направо

#### **13.4 Позиційні позначення на схемах автоматизації**

Приладам і засобам автоматизації, зображеним на схемах автоматизації, надаються позиційні позначення (позиції), що зберігаються незмінними в усіх матеріалах проєкту і яке вказується в нижній частині умовного позначення технічного засобу (кола або еліпса). Йому відповідає нумерація, яка використовується в замовленій специфікації проєкту. Для засобів автоматизації допускається два способи позиційного позначення. За першим – позиційне позначення складається з арабської цифри, яка є порядковим номером даного комплекту на схемі, та літерного індексу його елементів, що позначається малими літерами. Літерні індекси в алфавітному порядку присвоюються елементами кожного комплекту в послідовності руху інформації в контурі: від первинних перетворювачів до регулюючих

органів, наприклад, 1а, 1б, 1в і т.д. За другим способом у позиційному позначенні замість літери також проставляють цифри в порядку, аналогічному літерним індексам. Наприклад, 1-1, 1-2, 1-3 і т.д.

Нумерацію комплектів на схемі ведуть зліва направо за ходом технологічного процесу або за параметрично-технологічним принципом: спочатку проводять нумерацію за ходом технологічного процесу всіх приладів температури, далі – тиску, витрати, рівня, складу та якості речовини.

Для позиційного позначення електротехнічних засобів використовують спеціальні літери позначення, які застосовують в електричних схемах, основні з яких наведені у табл.13.1.

Таблиця 13.1

## Позиційні позначення електротехнічних засобів

Елемент	Позиційне позначення
Ключ управління, перемикач	SA
Кнопочна станція	SB
Кінцевий вимикач	SQ
Магнітний пускач	KM
Елемент сигналізації:	
звукової	HA
світлової	HL
Електродвигун	M

Позиційні позначення окремих приладів і засобів автоматизації місцевого розміщення, таких як регулятор дії, манометр, термометр розширення тощо, складаються лише з порядкового номера.

### 13.5 Вимоги до оформлення та приклади виконання схем автоматизації технологічних процесів

Схему автоматизації виконують у вигляді креслення, на якому схематично умовними зображеннями показують: технологічне устаткування, комунікації, органи керування і засоби автоматизації із зазначенням зв'язків між технологічним устаткуванням і засобами автоматизації, а також зв'язків між окремими функціональними блоками та елементами автоматики.

Умовні зображення слід виконувати лініями такої товщини:

1) технологічного устаткування: у вигляді прямокутників довільних розмірів

– 0,5...1 мм; з відображенням характерних ознак устаткування

– 0,2...0,5 мм;

2) трубопроводів – 0,5...1,5 мм;

3) умовні зображення засобів автоматизації (крім горизонтальної лінії на зображенні приладів, розміщених на щитах і пультах, - 0,2...0,3 мм;

4) лінії зв'язку між засобами автоматизації та горизонтальні лінії на зображенні приладів, розміщених на щитах і пультах, - 0,2...0,3 мм;

5) щити та пульти (прямокутники внизу схеми) – 0,5...1 мм.

Схеми автоматизації можна розробляти з більшим чи меншим ступенем деталізації. Однак обсяг інформації, поданий на схемі, має давати повне уявлення про прийняті основні рішення з автоматизації певного технологічного процесу, а також забезпечувати можливість складання на стадії проекту заявочних відомостей на прилади і засоби автоматизації, трубопровідну арматуру, щити й пульти, основні монтажні матеріали та вироби. Схему автоматизації виконують зазвичай на одному аркуші, на якому зображують засоби автоматизації і апаратуру всіх систем контролю, регулювання, керування та сигналізації, що належать до певної технологічної установки. Допоміжні пристрої (редуктори і фільтри для повітря, джерела живлення, реле, автомати, вимикачі та запобіжники в ланцюгах живлен-

ня, з'єднувальні коробки, інші пристрої та монтажні елементи) на схемах автоматизації не показують.

Складні технологічні схеми рекомендується розбивати на окремі технологічні вузли і виконувати схеми автоматизації цих вузлів у вигляді окремих креслень. Для технологічних процесів з великим обсягом автоматизації схеми автоматизації можуть бути виконані окремо за видами технологічного контролю та керування. Наприклад, окремо виконують схеми автоматичного керування, контролю та сигналізації тощо.

Допускаються два способи виконання СА: розгорнутий (традиційний) і спрощений. При розгорнутому способі на схемі показують весь склад ТЗА для кожного контуру, при спрощеному – відображають лише кількість контурів контролю й регулювання, їх призначення і виконувані функції. Приклад спрощеного варіанта виконання СА системи автоматизації наведений на рис.13.3.

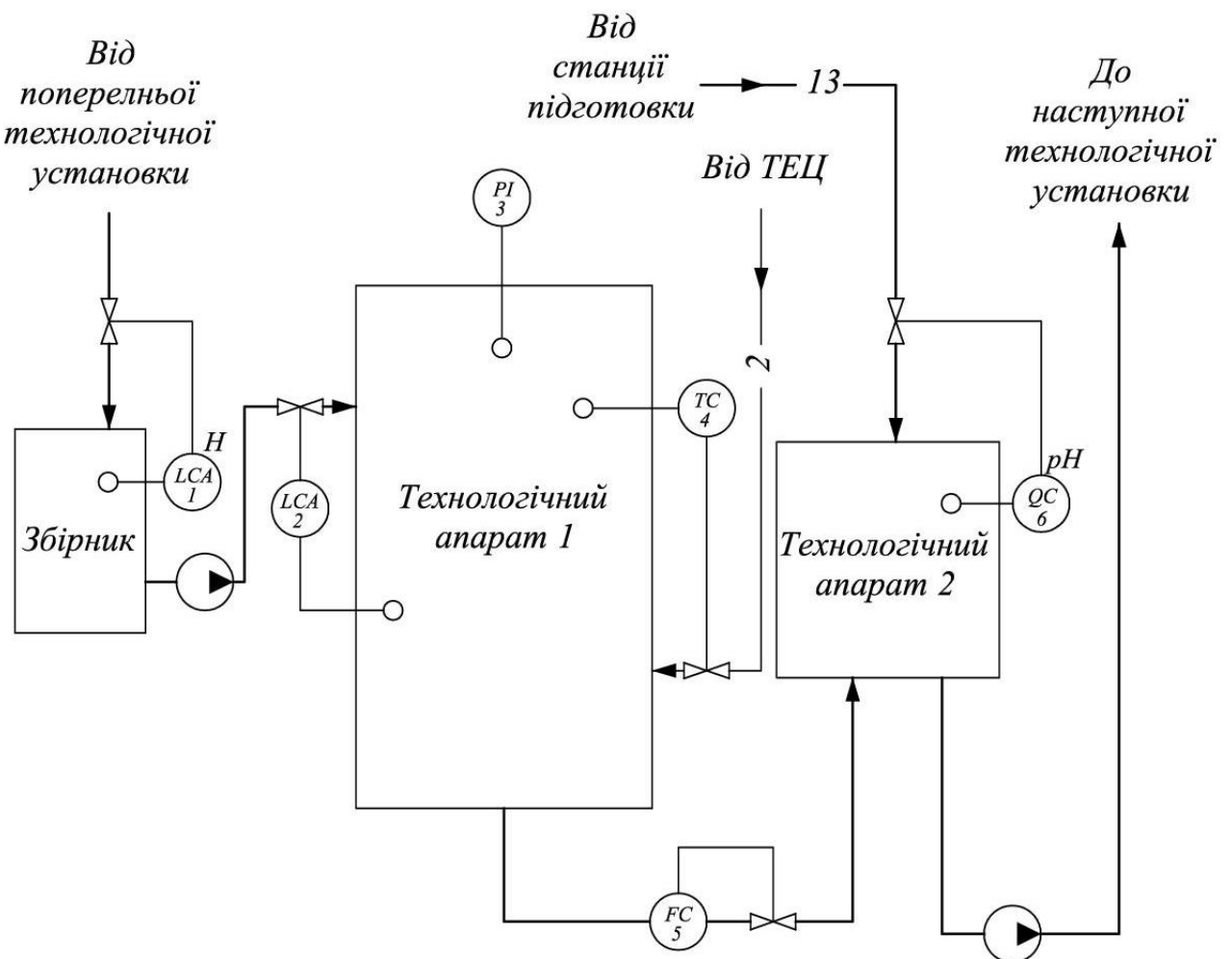


Рисунок 13.3 - Спрощена схема автоматизації

На наведеній схемі показано, що в збірнику виконуються функції управління рівнем із сигналізацією досягнення верхнього рівня (контур 1). У технологічному апараті: регулюється рівень в апараті шляхом зміни подачі основного технологічного потоку в апарат (контур 2); регулюється температура шляхом зміни подачі пари в апарат (контур 4), а також контролюється тиск в апараті (контур 3). У технологічному апараті 2 регулюється витрата технологічного потоку в апарат (контур 5), а також регулюється рН в апараті, шляхом подачі лугу в апарат (контур 6).

На схемі автоматизації, виконаній розгорнутим способом, показують всі пристрої і засоби автоматизації, що входять до складу функціонального блока чи групи, та місце їх установа. Перевага цього способу – більша наочність, що значно полегшує читання схеми і опрацювання проектних матеріалів, а також дає змогу складати замовні специфікації на потрібні для реалізації розробленої схеми автоматизації устаткування, вироби та матеріали.

При цьому вигляд схеми автоматизації залежить від вибору базових технічних засобів, які вибрані для її реалізації. Схему автоматизації можливо побудувати на базі локальних технічних засобів і з використанням мікропроцесорних логічних контролерів.

Приклад виконання схеми автоматизації показано на рис. 13.4. Зображення технічних засобів на схемі автоматизації залежить від вибору конкретних технічних засобів автоматизації.

На схемі двома прямокутниками позначено «Прилади місцеві» та «Щит оператора». Лінії зв'язку між датчиками та відбірними пристроями, встановленими на технологічному обладнанні, приладами та засобами автоматизації, що входять до конкретного контуру контролю чи регулювання, лініями зв'язку, цей метод з'єднання називають адресним.

Враховуючи сучасні тенденції розвитку системи автоматизації, які будуються на базі використання промислових мікропроцесорних контролерів, розглянемо більш детально розробку схем автоматизації в якій у якості основного управляючого пристрою використовується промисловий мікропроцесорний контролер (ПЛК), а автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора технолога розробляється на базі персонального комп'ютера (ПК), звичайного або промислово-

го виконання, зі спеціально встановленим програмним забезпеченням для створення людино-машинного інтерфейсу

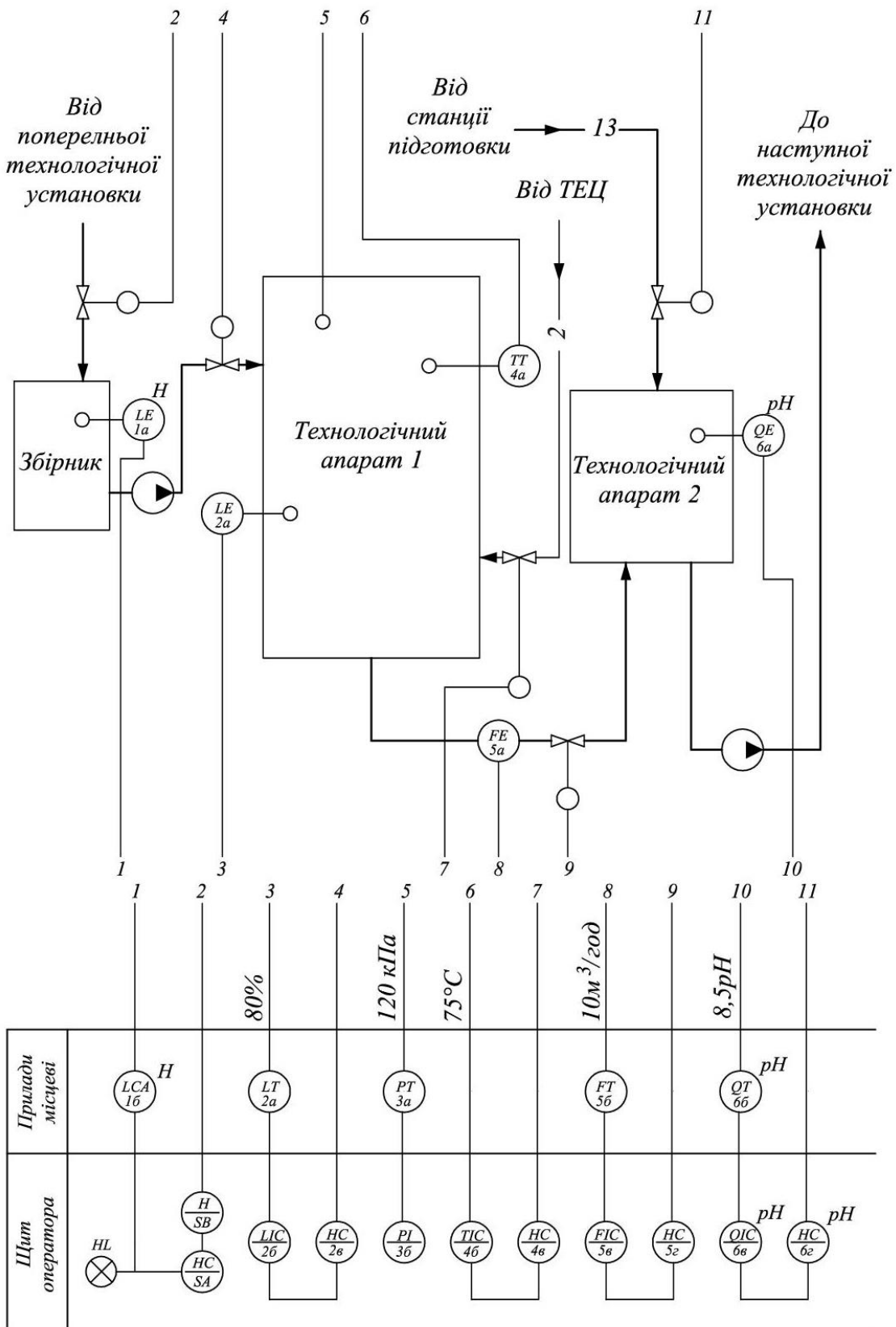


Рисунок 13.4 - Приклад розгорнутої схеми автоматизації з локальними технічними засобами автоматизації

Такий принцип побудови системи автоматизації називають «безщитовою автоматизацією», маючи на увазі, що вся інформація про стан об'єкта управління і можливість ручного управління об'єктом виконується з АРМа оператора.

Для такої системи автоматизації на СА зображують два послідовно розташованих прямокутники (зверху вниз) – один для мікропроцесорного контролера (ПЛК), а інший для комп'ютера з установленим АРМом операторатехнолога. У кожному прямокутнику проводять горизонтальні лінії, кожна з яких відповідає певній функції цих пристроїв: Y - оброблення інформації, I – індикація, R – реєстрація, C – автоматичне регулювання, S – управління (наприклад, схеми управління електродвигунами), A – сигналізація каналами. Якщо яка із функцій не використовується, то її можна не показувати.

На рис.13.5 показано один із варіантів зображення фрагмента схеми автоматизації для двох контурів: регулювання температури і управління двигуном, на якій показані всі перелічені вище функції ПЛК і ПК. У прямокутнику «ПЛК» показано тільки три функції, які притаманні більшості варіантів функцій, які виконує ПЛК: Y – оброблення інформації, C – автоматичне регулювання і S – управління (наприклад, схеми управління електродвигунами). Враховуючи, що на схемі підключення до ПЛК дуже важливо розуміти, які типи датчиків і виконавчих механізмів (аналогові чи дискретні) використано в схемі автоматизації (оскільки від цього залежить вибір конфігурації ПЛК), пропонується для функції Y (оброблення інформації) показувати 4 лінії, кожна з яких показує тип сигналу: ВА – вхід аналоговий, ВД – вхід дискретний, АВ – аналоговий вихід, ДВ – дискретний вихід.

Кожна функціональна лінія, що входить (виходить) в прямокутники, повинна мати точки на перетині з тими лініями, функції яких виконуються

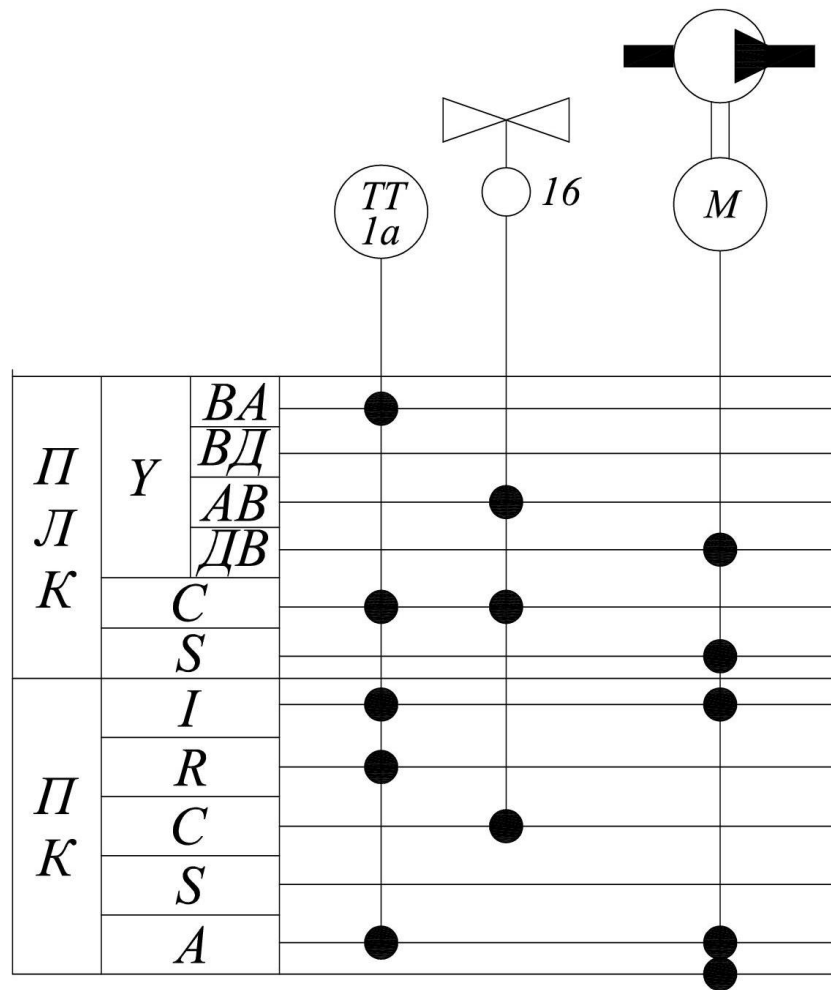


Рисунок 13.5 - Приклад фрагментів СА побудованих з використанням ПЛК

### Питання для самоконтролю

1. Що є завданням проектування систем автоматизації технологічних процесів?
2. Стадії розробки проектних робіт.
3. Що таке робоча документація проекту і що вона в себе включає?
4. Що зображують на схемах автоматизації?
5. Які основні інженерні завдання розглядаються при розробленні схем автоматизації?
6. Назвати загальні принципи, якими слід керуватися в процесі розроблення схеми автоматизації
7. Які особливості розташування технічних засобів ви знаєте?

8. Що таке позиційні позначення і як вони розташовуються на схемах автоматизації
9. Які способи виконання схем автоматизації існують?

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Карпюк Л. В., Гуліда М. І., Ревенко С. А. Комп'ютерна графіка в машинобудівних кресленнях: навч. посібник. Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2007. 132 с.
2. Ревенко С. А., Карпюк Л. В., Гуліда М. І., Архипов О. Г. Комп'ютерна графіка в хімічному апаратобудуванні: навч. посібник / Укл. С. А. Ревенко, Л. В. Карпюк, М. І. Гуліда, О. Г. Архипов. Навч. посібник. Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2012. -400 с.
3. Проектування тривимірних об'єктів засобами AutoCAD-2008: Навчальний посібник. – К: ПДО НУХТ, 2010. – 64 с.
4. Інженерна і комп'ютерна графіка : Навчальний посібник / В. Є. Климишук. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 92 с.
5. Эллен Финкельштейн. AutoCAD 2009 и AutoCAD LT. Библия пользователя / Эллен Финкельштейн — Диалектика, 2009. — 1376 с.
6. Николай Полещук. AutoCAD 2010. Наиболее полное руководство / Николай Полещук — БХВ. Петербург, 2009.- 800 с.
7. Единая система конструкторской документации. – М. : Изд. стандартов, 2001. – 160 с.
8. Концевич В. Г. Особенности работы в системах 2,5-мерного и трехмерного черчения : учебн. пособ. / В. Г. Концевич. – Сумы : СУМГУ, 2005. – 59 с.
9. Лагерь А. И. Инженерная графика / А. И. Лагерь. – 6-е изд., – М. : Высшая школа, 2009. – 335 с.
10. Орлов А. А. AutoCAD 2011. Самоучитель (+ CD с видеокурсом) / А. А. Орлов. – СПб. : Питер, 2011. – 384 с.
11. Практикум по начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графике : учебн. пособ. / Тепляков Ю. А., Зауголков И. А., Шамкин В. Н. – Тамбов : Изд. Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 104 с.
12. Соколова Т. Ю. AutoCAD 2011 : учебный курс (+ CD) / Т. Ю. Соколова. – СПб. : Питер, 2011. – 576 с. 88

13. Усатенко С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД : справочник / Т. К. Каченюк, М. В. Терехова. – Москва: Изд-во стандартов, 1989. – 235 с.

14. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування: Підручник. — Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. — 2003. — 250 с.

15. Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації: Навчальний посібник. — К.: Видавництво Ліра-К, 2016. — 344 с. — ISBN 978-966-2609-58-5

16. Проць Я. І., Ляшук О. Л., Савків В. Б., Шкодзінський О. К. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. — Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. — 344с. — ISBN 978-966-305-038-6

Навчальне видання

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни

### **«СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ»**

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти

за спеціальністю

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

*(Електронне видання)*

Укладач:

Людмила Вікторівна Карпюк

Оригінал-макет Л. В. Карпюк

Підписано до друку \_\_. \_\_.202\_\_.

Формат 60x84 1/16. Папір типогр. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. \_\_\_\_. Обл.-вид. арк. \_\_\_\_.

Тираж \_\_ екз. Вид. № \_\_\_\_. Замов. № \_\_\_\_\_. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету  
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

Адреса університета: вул. Іоанна Павла II., 17

м. Київ, 01042, Україна

e-mail: [vidavnictvosnu.ua@gmail.com](mailto:vidavnictvosnu.ua@gmail.com)