

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«СИСТЕМИ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ В ГАЛУЗІ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти
за спеціальністю

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри комп'ютерно-
інтегрованих систем управління
Протокол № 3 від 03.12.2024 р.

Київ 2025

УДК 004.92[621:744]

Конспект лекцій з дисципліни «Системи 3D-моделювання в галузі приладобудування та автоматизації» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти за спеціальністю 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка (Електронне видання) / Уклад.: Л. В. Карпюк. Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2025. 184 с.

Даний конспект лекцій є навчальним виданням для курсу «Системи 3D-моделювання в галузі приладобудування та автоматизації», який викладається для здобувачів вищої освіти галузі знань автоматизації та приладобудування.

Конспект лекцій містить основні програмні положення курсу, загальні відомості про проєктування в галузі приладобудування та автоматизації, геометричне та параметричне моделювання, характеристики сучасних CAD, CAM, CAE систем, предмет і область застосування сучасних комп'ютерних технологій, способи подання та збереження зображень, відомості про графічні редактори, детальний опис роботи в середовищі AutoCAD 3D. Розглянуто можливості та характеристики сучасного спеціального обладнання для проєктування та критерії вибору систем автоматизованого проєктування.

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:

Л. В. Карпюк

Рецензент:

д.т.н., проф. М. Г. Лорія

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	4
ТЕМА 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРОЄКТУВАННЯ В ГАЛУЗІ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	4
ТЕМА 2 ГЕОМЕТРИЧНЕ ТА ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЛАДО-МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБІВ.....	10
ТЕМА 3 ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНИХ САД-СИСТЕМ.....	54
ТЕМА 4 СПЕЦІАЛІЗОВАНІ САД-СИСТЕМИ. ВИДИ САЕ СИСТЕМ...	72
ТЕМА 5 САМ-СИСТЕМИ. ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА.....	92
ТЕМА 6 ВИБІР СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ	106
ТЕМА 7 ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ГРАФІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В САД-СИСТЕМАХ.....	116
ТЕМА 8 ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	124
ТЕМА 9 СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ ТІЛ І ПОВЕРХОНЬ.....	125
ТЕМА 10 МОДИФІКАЦІЯ ТВЕРДИХ ТІЛ.....	149
ТЕМА 11 КОМАНДИ РЕДАГУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В 3D МОДЕЛЮВАННІ.....	158
ТЕМА 12 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ КРЕСЛЕНИКІВ В AUTOCAD 3D.....	165
ТЕМА 13 АВТОМАТИЧНЕ СТВОРЕННЯ ЕКРАНІВ ВИДІВ ТА ОРТОГОНАЛЬНИХ ПРОЄКЦІЙ.....	176
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	183

ВСТУП

Одним з основних завдань підприємств приладо- та машинобудівних галузей є забезпечення конкурентоздатності своєї продукції як на ринку України, так і за її межами. На етапах конструкторської підготовки виробництва це завдання можна вирішити шляхом зменшення трудомісткості процесів проектування та підвищення якості проєктних рішень за рахунок ефективного використання систем автоматизованого проектування.

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 проектування систем автоматизації.

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 системи 3D-моделювання.

Метою викладання навчальної дисципліни «Системи 3D-моделювання в галузі приладобудування та автоматизації» є: підготовка фахівців до самостійного вирішення професійних задач в галузі проєктування та експлуатації об'єктів і мереж шляхів сполучення, практичного використання методів комп'ютерного моделювання на ЕОМ, ознайомлення із сучасними підходами до автоматизації проєктування, опанування студентами сучасних комп'ютерних прикладних програм, які підвищують продуктивність праці у проєктно-конструкторській роботі і проєктуванні технологічних комплексів та апаратів на виробництві, а також оволодіння базовими знаннями в проєктуванні, технології виготовлення і підготовці технічної документації; забезпечення достатнього рівня теоретичних знань, необхідних для розуміння принципів проєктування.

Завданням дисципліни є отримання студентами знань в області сучасних САПР, їх основних функцій, задач, які вони вирішують, для можливості прийняття рішення щодо використання тієї чи іншої системи для успішного вирішення конкретного завдання конструкторської підготовки виробництва при виконанні розрахунково-графічних робіт, курсовому чи дипломному проєктуванні.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

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

вміти: провести постановку інженерної задачі та утворення математичної моделі; самостійно здійснити вибір математичних методів рішення практичних задач приладобудування; конструювати приладобудівні конструкції з використанням сучасних систем автоматизованого проєктування.

Вивчення дисципліни «Системи 3D-моделювання в галузі приладобудування та 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 проектування 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 «Системи 3D-моделювання в галузі приладобудування та автоматизації» денної форми навчання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Зміст аудиторних занять здобувачів вищої освіти за денною формою навчання у 4-му семестрі

Назва теми та короткий зміст лекційних занять	Кількість годин	Рекомендована література
1	2	3
<p>Лекція 1 Тема 1. Загальні відомості про проектування в галузі приладобудування та автоматизації <u>Стислий зміст:</u> Вступ. Предмет і завдання курсу. Поняття і класифікація системи автоматизованого проектування (САПР). Склад і структура САПР. Принципи створення САПР. Поняття проектування. Структура процесу проектування приладо- машинобудівних виробів. Історія розвитку САПР. Види забезпечення САПР</p>	2	[1], [2], [3]
<p>Лекція 2 Тема 2. Геометричне та параметричне моделювання приладо- машинобудівних виробів <u>Стислий зміст:</u> Основні поняття геометричного моделювання. Каркасне моделювання. Поверхневе моделювання. Твердотіле моделювання. Основні поняття параметричного конструювання. Види параметризації. Асоціативне та об'єктно-орієнтоване конструювання</p>	2	[1], [2], [3]
<p>Лекції 3 Тема 3. Характеристика сучасних САД-систем <u>Стислий зміст:</u> Загальна характеристика 2D САД-систем. Ієрархія об'єктів в САД-системах. Спеціалізовані модулі 2D-програм. Загальна характеристика 3D САД-систем. Генератор креслеників. Системи промислового дизайну.</p>	2	[1], [2], [3], [4]

<p>Лекції 4 Тема 4. Спеціалізовані CAD-системи. Види CAE систем</p> <p><u>Стислий зміст:</u> AEC CAD - архітектурно-будівельні САПР. EDA-проектування електронних пристроїв. Геоінформаційні системи. Характеристика CAE-систем. Метод кінцевих елементів. Моделювання кінематики. Аерогідродинамічні розрахунки. Електро-статика та електродинаміка</p>	2	[4], [5], [6]
<p>Лекція 5 Тема 5. САМ-системи. технологічна підготовка виробництва</p> <p><u>Стислий зміст:</u> Історичний огляд САМ-систем. Характеристика САМ-систем. Верифікація та оптимізація NC-програм. Види траєкторій для обробки деталей. САРР - технологічна підготовка. Цифрове виробництво</p>	2	[1], [5], [6], [7], [8]
<p>Лекції 6 Тема 6. Вибір систем автоматизованого проектування</p> <p><u>Стислий зміст:</u> Ініціація процесу вибору САПР. З'ясування потенційних переваг системи. Формалізація вимог до системи. Аналіз витрат на придбання САПР. Вибір системи САПР</p>	2	[4], [5], [6], [8]
<p>Лекція 7 Тема 7. Технології і засоби графічного моделювання в CAD-системах</p> <p><u>Стислий зміст:</u> 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. Вивчення команд модифікування 3D об'єктів.</p>	2	[4], [5], [9], [10]
<p>Лекції 8-9 Тема 8. Тривимірне моделювання</p> <p><u>Стислий зміст:</u> Типи тривимірних моделей. Каркасні моделі. Поверхневі моделі. Твердотілі 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.</p>	4	[4], [5], [6], [10]

<p>Простір Моделі. Простір Листа. Розфарбовування 3D об'єктів. Основні види, Додатковий вид. Місцевий вид. Розрізи. Переріз. Винесені елементи. Основи двовимірного проєктування. Особливості роботи в AutoCAD 2D. Перехід в AutoCAD 3D. Перетворення форми вихідної 3D-моделі з використанням команд 3D-редагування.</p>		
<p>Лекції 10-11 Тема 9. Створення тривимірних тіл і поверхонь <u>Стислий зміст:</u> 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. Креслення контуру деталі з застосуванням спряжень в 2D-просторі. Перехід в тривимірний простір.</p>	4	[4], [5], [6], [10]
<p>Лекції 12-13 Тема 10. Модифікація твердих тіл <u>Стислий зміст:</u> Модифікація тіл шляхом редагування їх граней та ребер. Редагування граней. Видавлення граней. Перенесення граней. Зсув граней. Видалення граней. Поворот граней. Зведення грані на 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.</p>	4	[4], [5], [6], [10]
<p>Лекції 14-15 Тема 11. Команди редагування об'єктів в 3D моделюванні <u>Стислий зміст:</u> «Стереть». «Копировать». «Зеркало». «Подобие». «Масив». «Перенести». «Повернуть». «Масштаб». «Растянуть». «Увеличить». «Обрезать». «Удлинить». «Разорвать». «Фаска». «Сопряжение». «Расчленить». «Выровнять».</p>	4	[4], [5], [6], [10]
<p>Лекція 16 Тема 12. Особливості виконання креслеників в AutoCAD 3D <u>Стислий зміст:</u> Тривимірні полілінії. Тонування.</p>	2	[4], [5], [6], [9], [10]

Грані й багатокутні мережі. Области.		
<p>Лекції 17</p> <p>Тема 13. Автоматичне створення екранів виглядів та ортогональних проєкцій</p> <p><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..</p>	2	[4], [5], [6], [9], [10]
Підсумковий контроль знань		залік

ТЕМА 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРОЄКТУВАННЯ В ГАЛУЗІ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Зміст теми:

- 1.1 Вступ. Предмет і завдання курсу
- 1.2 Поняття і класифікація системи автоматизованого проєктування (САПР)
- 1.3 Склад і структура САПР
- 1.4 Принципи створення САПР
- 1.5 Поняття проєктування
- 1.6 Структура процесу проєктування приладо- машинобудівних виробів
- 1.7 Види забезпечення САПР

1.1 Вступ. Предмет і завдання курсу

Ускладнення конструкцій виробів, ріст вимог до їх якості і надійності, ускладнення умов експлуатації, необхідність скорочення термінів розробки нових виробів або вдосконалення вже існуючих вимагають прийняття складних рішень в мінімальні терміни. При цьому на ефективність прийняття рішень, окрім кваліфікації та досвіду інженера, значний вплив будуть мати використовувані засоби автоматизації його діяльності.

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 розташовуються 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 і класифікація системи автоматизованого проєктування (САПР).

Процес проєктування, здійснюваний повністю людиною, називають неавтоматизованим. В даний час найбільшого поширення при проєктуванні складних об'єктів отримало проєктування, при якому відбувається взаємодія людини і ЕОМ.

Таке проєктування називають автоматизованим.

Система автоматизованого проєктування (САПР) – це організаційно-технічна система, що складається з комплексу засобів автоматизації проєктування, взаємодіє з підрозділами проєктної організації і виконує автоматизоване проєктування. Відповідно до ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та

визначення»– система автоматизованого проєктування (САПР) – це автоматизована система, яка призначена для автоматизації технологічного процесу проєктування виробу, кінцевим результатом якого є комплект проєктно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проєктування.

Цей же стандарт регламентує наступні визначення:

Автоматизація – це впровадження автоматичних засобів для реалізації процесів.

Об'єкт автоматизації – це сукупність функцій людини чи людино-машинного комплексу, що підлягають автоматизації.

Система автоматизована (АС) – організаційно-технічна система, що складається із засобів автоматизації певного виду (чи кількох видів) діяльності людей та персоналу, що здійснює цю діяльність. АС складається з персоналу і комплексу засобів автоматизації його діяльності, що реалізують інформаційну технологію виконання встановлених функцій. При цьому поняття «комплекс засобів автоматизації» має на увазі всі компоненти АС, за винятком людей (користувачів автоматизованих систем).

Користувач автоматизованої системи – особа, що бере участь у функціонуванні АС або має право використовувати і використовує результати її функціонування.

Система автоматизована інтегрована (ІАС) – це сукупність двох і більше взаємопов'язаних АС, в якій функціонування однієї (кількох) з них залежить від результатів функціонування іншої (інших) так, що цю сукупність можна розглядати як єдину АС.

Система проєктування автоматизована (АСП) – це АС, призначена для автоматизації технологічного процесу проєктування виробу, кінцевим результатом якого є комплект проєктно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проєктування.

Комплекс засобів автоматизації автоматизованої системи (КЗА АС) – сукупність взаємоузгоджених компонентів і комплексів технічного, програмного,

інформаційного та лінгвістичного забезпечень, що розробляються, виготовляються та постачаються як продукція виробничо-технічного призначення і використовуються під час створення й функціонування АС.

Автоматизоване проєктування – процес, що здійснюється за спільної участі людини і засобів автоматизації.

Автоматичне проєктування – процес, здійснюваний без участі людини.

Технологія інформаційна – технологічний процес, предметом перероблення й результатом якого є інформація.

Інформаційна модель – модель об'єкта, представлена у вигляді інформації, яка описує суттєві для даного розгляду параметри і змінні величини об'єкта.

Інформаційна модель виробу – сукупність даних і залежності між ними, що описують різні властивості реального виробу, які цікавлять розробника моделі і потенційного або реального користувача.

Електронний макет – електронна модель виробу, що описує його зовнішню форму і розміри, що дозволяє повністю або частково оцінити його взаємодію з елементами виробничого і/або експлуатаційного оточення, що служить для прийняття рішень при розробці виробу та в процесі його виготовлення і використання.

Інженерна діяльність може бути підрозділена на кілька послідовних етапів: проєктування, конструювання, підготовка і організація виробництва. Відповідно, і кошти автоматизації інженерної діяльності мають класифікацію і поділяються за цільовим призначенням:

- засоби проєктування CAD (Computer Aided Design);
- засоби інженерного аналізу CAE (Computer Aided Engineering);
- засоби підготовки автоматизованого виробництва CAM (Computer Aided Manufacturing);
- засоби планування технологічних процесів CAPP (Computer Aided Process Planning);
- засоби управління життєвим циклом виробу PLM (product lifecycle management);

- засоби управління документообігом PDM (Product Document Management).

У свою чергу, всередині всієї безлічі CAD-рішень прийнято виділяти за галузевим призначенням:

- машинобудівні CAD - MCAD (Mechanical Computer Aided Design);
- САПР електронних пристроїв, EDA (Electronic Design Automation);
- архітектурно-будівельні САПР, АЕС (Architecture Engineering and Construction).

Щоб зрозуміти значення систем CAD / CAM / CAE (всі ці системи разом називаються системами автоматизованого проєктування - САПР), потрібно 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.

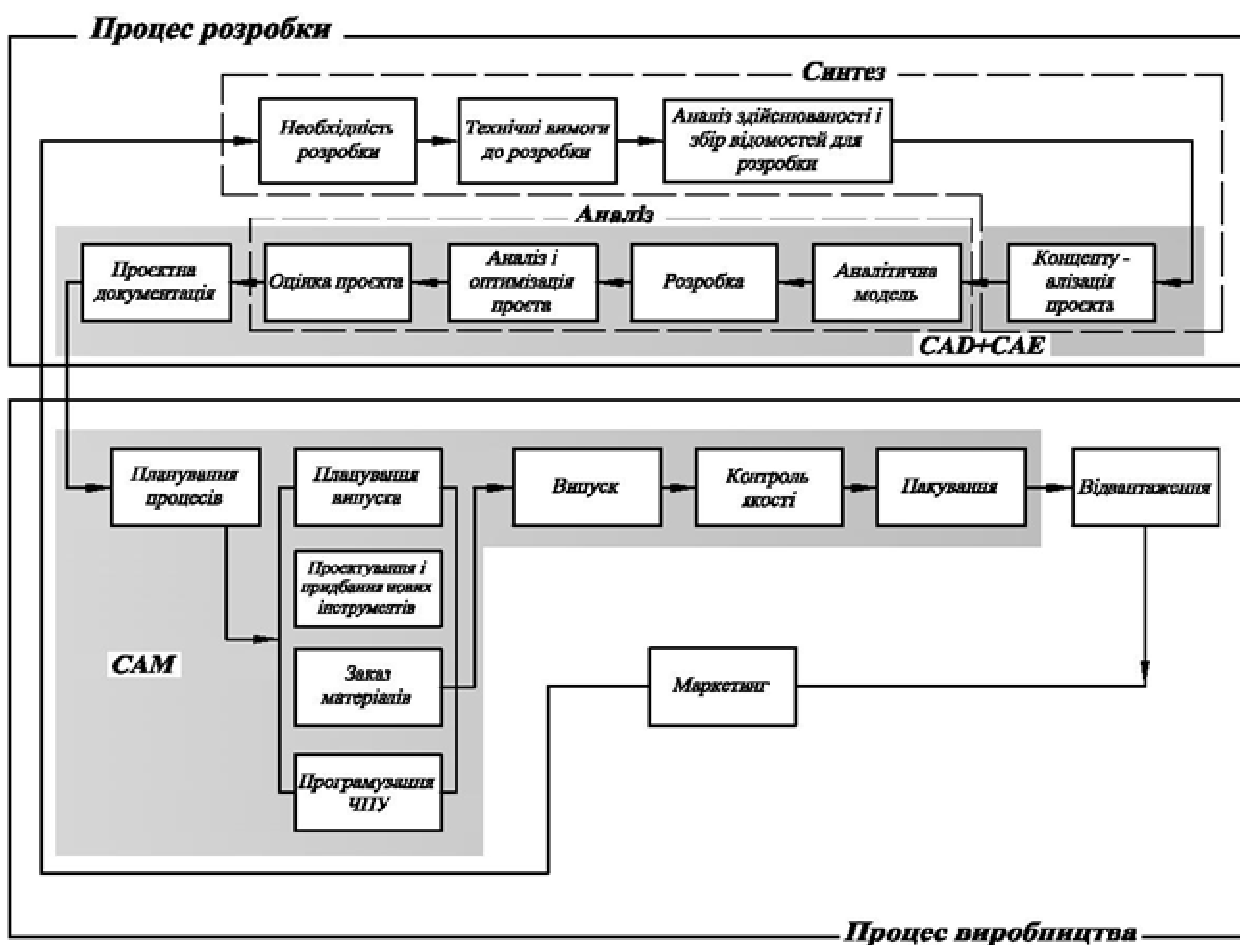


Рисунок 1.1 – Життєвий цикл продукту

САПР також класифікують за різновидом та складністю об'єктів проектування:

- легкі (AutoCAD, Компас-графік);
- середні (Solid Works, Solid Edge, Компас-3D);
- важкі (CATIA, Pro / ENGINEER, NX).

Легкі САПР застосовують, в основному, замість кульмана.

Можна сказати, що 2D креслення на комп'ютері легше, ніж за кульманом, адже програми налаштовані спеціальним чином так, щоб креслити було максимально легко і комфортно. Тут не потрібно стежити за якістю графіки, все малює комп'ютер. Можна без проблем виконувати кресленики будь-якої складності і розмірів (що важливо, коли виконуєш збірки формату A1 і A0).

Середні використовуються для 3D моделювання і побудови креслеників по 3D моделям. Природно, побачивши 3D модель двигуна ви зрозумієте набагато більше, ніж за кресленником також як і те, що деталь виконана верстатом з ЧПУ по 3D моделі буде точніше, ніж робочим по 2D кресленику.

Важкі САПР - навіть не програми, а цілі комплекси програм для великого підприємства. В одній ви виконуєте 3D модель деталі (CAD-програма), у другій - розраховуєте її на міцність (CAE-програма), в третій - проектуєте інструмент для її виготовлення, в четвертій - розробляєте керуючу програму для верстатів з ЧПУ (CAM-програма). Ну і вартість у них відповідна кількості функцій.

Тому для багатьох компаній по співвідношенню ціна / якість найбільш оптимальною виглядає категорія середніх САПР, куди входить і програма AutoCAD.

Класифікація САПР за **рівнем автоматизації**:

- низько-автоматизовані (до 25% проектних процедур автоматизовано);
- середньо-автоматизовані (25-50%);
- високо-автоматизовані (50-75%);

Класифікація САПР за **рівнем комплексності**:

- одноетапні (один етап проектування);
- багатоетапні (кілька етапів);

- комплексні (весь процес створення виробу).

Класифікація САПР за **характером і кількістю випущених проєктом документів**:

- - САПР низької продуктивності (100-10 000 проєктних документів в перерахунку на формат А4 за рік);
- документів в перерахунку на формат А4 за рік);
- - САПР середньої продуктивності (10 000-100 000);
- САПР високої продуктивності (100 000 і вище).

1.3 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 зважається 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 також 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.

1.4 Принципи створення САПР

Під автоматизацією проєктування розуміється такий спосіб виконання процесу розробки проєкту, коли проєктні процедури й операції здійснюються розроблячем 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 проєктування;
- 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 проєктування;
- підготовка і перепідготовка фахівців в області САПР;
- взаємодія проєктних підрозділів з автоматизованими системами різного рівня і призначення.

САПР – комплекс засобів автоматизації проєктування, взаємозалежних з необхідними підрозділами проєктної організації або колективом фахівців (корис-

тувачем системи), що виконує автоматизоване проєктування. САПР поєднує технічні засоби, математичне і програмне забезпечення, параметри і характеристики яких вибирають з максимальним врахуванням особливостей задач інженерного проєктування 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 проєктування на всіх чи окремих стадіях проєктування 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» проєктування окремих елементів і всього об'єкта проєктування в цілому (ієрархічність проєктування).

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 Поняття проєктування

Проєктування нових видів і зразків машин, устаткування, пристроїв, апаратів, приладів та інших виробів представляє складний і тривалий процес, що включає в себе розробку вихідних даних, креслеників, технічної документації, необхідних для виготовлення дослідних зразків і подальшого виробництва і експлуатації об'єктів проєктування.

Проєктування – це комплекс робіт з метою отримання описів нового або модернізованого технічного об'єкта, достатніх для реалізації або виготовлення об'єкта в заданих умовах. В процесі проєктування виникає необхідність створення опису, необхідного для побудови ще не існуючого об'єкта. Отримувані при проєктуванні описи бувають остаточними або проміжними. Остаточні описи представляють собою комплект конструкторсько-технологічної документації у вигляді креслеників, специфікацій, програм для ЕОМ і автоматизованих комплексів і т.п.

На риунку 1.2 показано місце проєктування в структурі життєвого циклу виробу.

Представлення про складні технічні об'єкти в процесі їх проєктування поділяються на аспекти і ієрархічні рівні. Аспекти характеризують ту чи іншу групу споріднених властивостей об'єкта. Типовими аспектами в описах технічних об'єктів є: функціональний, конструкторський і технологічний.

Функціональний аспект відображає фізичні та інформаційні процеси, що протікають в об'єкті при його функціонуванні.

Конструкторський аспект характеризує структуру, розташування в просторі і форму складових частин об'єкта.

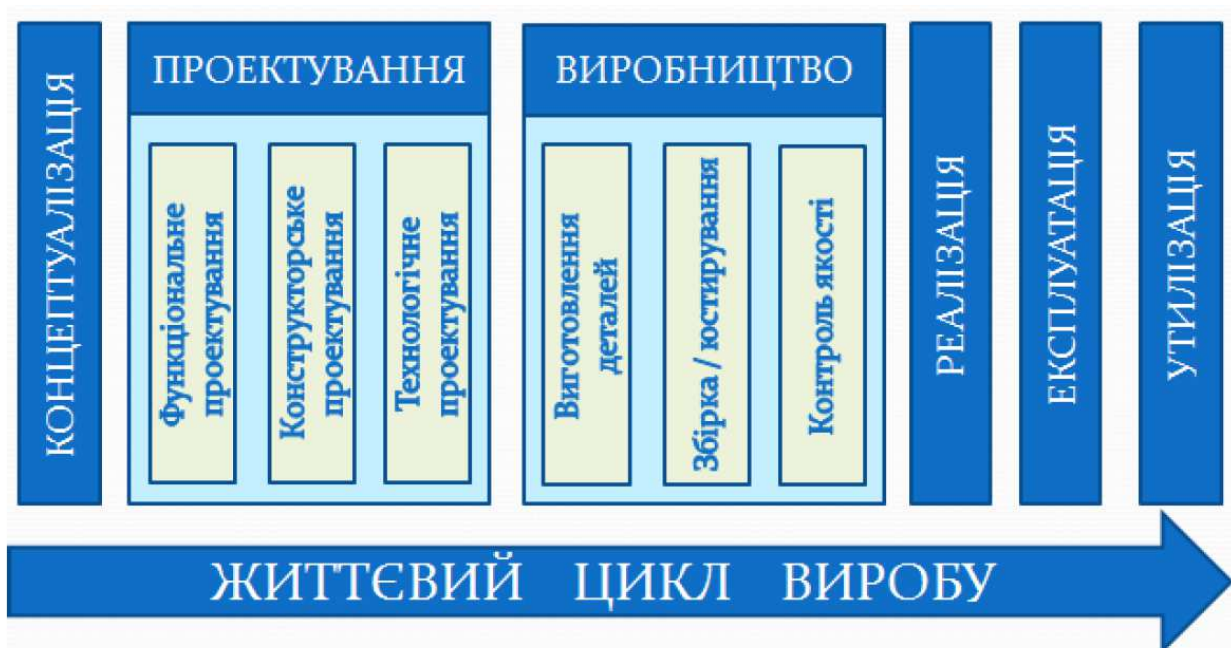


Рисунок 1.2 – Структура життєвого циклу виробу

Технологічний аспект визначає технологічність, можливості і способи виготовлення об'єкта в заданих умовах.

Поділ описів проєктованих об'єктів на ієрархічні рівні за ступенем подробиць відображення властивостей об'єктів становить сутність блочно-ієрархічного підходу до проєктування.

Типовими ієрархічними рівнями функціонального проєктування є:

- функціонально-логічний (функціональні і логічні схеми);
- схемотехнічний (електричні схеми вузлів і окремих блоків);
- компонентний (проєктування елементів і їх розміщення).

Будь-який сучасний складний технічний пристрій є результатом комплексного знання. Проєктувальник повинен знати маркетинг, економіку країни і світу, фізику явищ, численні технічні дисципліни (обчислювальну техніку, математику, машинобудування, метрологію, організацію і технологію виробництва та ін.), умови експлуатації виробу, керівні технічні документи і стандарти. Крім того, слід враховувати особливості та вимоги реального життя, колективу, чужий досвід, вміння отримувати та оцінювати інформацію.

Чи не останньою вимогою до проєктувальника є комплексність мислення, вміння працювати з великою кількістю організацій. Особливо це вміння необхідно розробнику виробу, що входить в більш складний комплекс (наприклад, радіостанції для судна, літака) або пов'язаного з іншими системами (з видачі даних, харчуванню, управління та ін.).

Найчастіше повний цикл проєктування називають науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи (в англійській мові передається як Research & Development, R&D) - комплекс заходів, що включає в себе як наукові (дизайнерські, концептуальні та ін.) дослідження, так і виробництво дослідних і дрібно-серійних зразків продукції, що передують запуску нового продукту або системи в промислове виробництво.

1.6 Структура процесу проєктування приладо- машинобудівних виробів

Проектне рішення – опис об'єкта або його частини, достатній для прийняття висновку про закінчення проєктування або шляхах його продовження.

Проектна процедура – частина проєктування, що закінчується отриманням проектного рішення.

Маршрутом проєктування називається послідовність проектних процедур, що веде до отримання необхідних проектних рішень.

Проектні процедури діляться на *процедури синтезу та аналізу*.

Процедура синтезу полягає в створенні описів проєктованого об'єкта. В описах відображаються структура і параметри об'єкта (тобто здійснюється структурний і параметричний синтез).

Процедура аналізу – дослідження об'єкта. Власне завдання аналізу формулюється як задача встановлення відповідності двох різних описів одного і того ж об'єкта. Один з описів вважається первинним, і його коректність передбачається встановленою. Другий опис відноситься до більш докладного рівню ієрархії, і його правильність потрібно встановити зіставленням з первинним описом. Таке зіставлення називають верифікацією.

Частина процесу проєктування, що включає в себе формування всіх необхідних описів об'єкта називається етапом проєктування.

Етапи проєктування це:

- 1) технічне завдання;
- 2) технічна пропозиція;
- 3) ескізне проєктування;
- 4) технічне проєктування;
- 5) робоче проєктування;
- 6) виготовлення дослідного зразка.

Проєктування як окремих об'єктів, так і систем починається з вироблення **технічного завдання** на проєктування. У технічному завданні містяться основні відомості про об'єкт проєктування, умови його експлуатації, а також вимоги, що пред'являються замовником до проєктованого виробу. Найважливіша вимога до технічного завдання – це його повнота. Виконання цієї вимоги визначає терміни і кість проєктування. Наступний етап – попереднє проєктування – пов'язаний з пошуком принципів можливостей побудови системи, дослідженням нових принципів, структур, обґрунтуванням найбільш загальних рішень. Результатом цього етапу є **технічна пропозиція**.

На етапі **ескізного проєктування** проводиться детальне опрацювання можливості побудови системи, його результатом є ескізний проєкт.

На етапі **технічного проєктування** виконується укрупнене уявлення всіх конструкторських і технологічних рішень; результатом цього етапу є технічний проєкт.

На етапі **робочого проєктування** проводиться детальне опрацювання всіх блоків, вузлів і деталей проєктованої системи, а також технологічних процесів виробництва деталей і їх складання у вузли і блоки.

Заключний етап – **виготовлення дослідного зразка**, за результатами випробувань якого вносять необхідні зміни в проєктну документацію.

При неавтоматизованому проєктуванні найбільш трудомісткими є етапи технічного і робочого проєктування. Впровадження автоматизації на цих етапах призводить до найбільш ефективних результатів.

1.7 Види забезпечення САПР

Забезпечення систем автоматизованого проєктування включає в себе:

- теорію процесів, що відбуваються в схемах і конструкціях;
- методи аналізу і синтезу конструкцій, систем і їх складових частин, їх математичні моделі;
- математичні методи і алгоритми чисельного рішення систем рівнянь, що описують конструкції.

Зазначені компоненти складають ядро САПР. В забезпечення САПР ходять також алгоритмічні спеціальні мови програмування, термінологія, нормативи, стандарти та інші дані. Розробка комплексу забезпечення САПР вимагає спеціальних знань в областях застосування САПР. Отже, розробка забезпечення САПР – прерогатива фахівців в предметної області. Зазвичай в якості відокремлених блоків в забезпеченні САПР виділяються наступні.

Математичне забезпечення (МЗ) – сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів проєктування, представлених в заданій формі. МЗ при автоматизованому проєктуванні в явному вигляді не використовується, а застосовується похідний від нього компонент – програмне забезпечення. Разом з тим розробка математичного забезпечення є найскладнішим етапом створення САПР, від якого при використанні умовно однакових технічних засобів в найбільшій мірі залежать продуктивність і ефективність функціонування САПР в цілому.

Математичне забезпечення будь-яких САПР за призначенням і способам реалізації ділиться на дві частини. Першу складають математичні методи і побудовані на їх основі математичні моделі, які описують об'єкти проєктування або їх частини або обчислюють необхідні властивості і параметри об'єктів.

Другу частину складає формалізоване опис технології автоматизованого проектування.

У складі будь-якої САПР ці частини математичного забезпечення повинні органічно взаємодіяти. Способи та засоби реалізації першої частини математичного забезпечення найбільш специфічні в різних САПР і залежать від особливостей процесу проектування. Розвиток і вдосконалення методів в даній частині – процес постійний. Створення САПР стимулює ці роботи, і перш за все в частині розробки оптимізаційних методів проектування.

Технічне забезпечення - сукупність пов'язаних і взаємодіючих технічних засобів, що забезпечують роботу САПР. Технічне забезпечення САПР включає пристрої обчислень і організаційної техніки, засоби передачі даних, вимірювальну техніку, пристрої підготовки даних і організації архівів. В даний час більшість практично діючих САПР будуються на базі локальних обчислювальних мереж.

Програмне забезпечення – сукупність машинних програм, необхідних для здійснення процесу проектування, що включає системне і прикладне програмне забезпечення. У програмному забезпеченні САПР виділяють:

- загальносистемне програмне забезпечення (базова операційна система та моніторні системи САПР);
- пакети прикладних програм (комплекси програмних засобів, орієнтованих на вирішення завдань у певній галузі);
- системи програмування (сукупність засобів написання текстів, трансляції і налагодження програм користувача).

Інформаційне забезпечення – сукупність відомостей, необхідних для виконання проектування. Включає СУБД (Систему управління базами даних), саму базу даних і базу знань. До інформаційного забезпечення висуваються такі вимоги:

- адекватність інформації стану предметної області;
- масовість використання (колективний доступ);

- швидкодія (час реакції на запит);
- продуктивність (кількість запитів, які виконуються в одиницю часу);
- можливість розширення;
- надійність і захист інформації.

Інформаційне забезпечення САПР складається з опису стандартних проєктних процедур, типових проєктних рішень, типових елементів, комплектуючих виробів і їх моделей, матеріалів, числових значень параметрів і інших даних. Ці дані в закодованій формі записуються на машинних носіях. Крім того, в інформаційне забезпечення САПР входять правила і норми проєктування, що містяться у відповідній нормативно-технічній документації, а також інформація про правила документування результатів проєктування.

Лінгвістичне забезпечення – сукупність мов проєктування, включаючи терміни, визначення, правила формалізації природної мови, методи стиснення і розгортання текстів.

В свою чергу, лінгвістичне забезпечення САПР підрозділяється на мови програмування, проєктування і управління.

Мови програмування служать для розробки і редагування системного і прикладного програмного забезпечення САПР.

Мови проєктування – це проблемно-орієнтовані мови, що служать для обміну інформацією про об'єкти та процесі проєктування між користувачем і комп'ютером.

Мови управління служать для формування команд управління технологічним обладнанням, пристроями документування, периферійними пристроями. Існують різні рівні мов програмування: високі, більш зручні для користувача, і низькі, близькі до машинних мов.

Методичне забезпечення – сукупність документів, що встановлюють склад, правила відбору і експлуатації засобів забезпечення системи.

Організаційне забезпечення – сукупність документів, що визначають склад проєктної організації, зв'язок між підрозділами, а також форму представлення результатів проєктування та порядок розгляду проєктних документів.

Питання для самоконтролю

1. Що таке 2D – технологія проєктування?
2. Що таке 3D – технологія проєктування?
3. Що собою представляє автоматизоване проєктування?
4. Що необхідно для створення САПР?
5. Дайте визначення поняттю «проєктування».
6. Охарактеризуйте аспекти проєктування.
7. Перелічіть етапи життєвого циклу промислових виробів.
8. Назвіть види робіт, які виконуються на етапі ескізного проєктування промислового виробу.
9. Назвіть види робіт, які виконуються на етапі робочого проєктування промислового виробу.
10. Дайте визначення поняттю «система автоматизованого проєктування».
11. Наведіть класифікацію систем автоматизованого проєктування.
12. Які компоненти складають ядро автоматизованої системи проєктування?
13. Охарактеризуйте види забезпечення систем автоматизованого проєктування.
14. Поясніть різницю між проєктною операцією та проєктною процедурою.

ТЕМА 2

ГЕОМЕТРИЧНЕ ТА ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЛАДО-МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБІВ

Зміст теми:

- 2.1 Основні поняття геометричного моделювання
- 2.2 Каркасне моделювання
- 2.3 Поверхневе моделювання
- 2.4 Твердотіле моделювання
- 2.5 Основні поняття параметричного конструювання
- 2.6 Види параметризації
- 2.7 Асоціативне та об'єктно-орієнтоване конструювання

2.1 Основні поняття геометричного моделювання

3D-модель – це об'ємна фігура в просторі, створювана в спеціальній програмі. За основу, як правило, приймаються кресленики, фотографії, технічні рисунки та детальні описи, спираючись на які, фахівці і створюють комп'ютерну модель.

Створення 3D-моделі об'єкта здійснюється за допомогою 3D- моделювання. На першому етапі 3D-моделювання проводиться збір інформації: ескізи, кресленики, фотографії і відеоролики, технічні рисунки, часто навіть використовують готовий зразок виробу - загалом все, що допоможе зрозуміти зовнішній вигляд і структуру об'єкту.

На підставі отриманої інформації проєктувальник створює тривимірну модель в спеціальній САПР. Після того як модель буде виконана, на неї можна буде подивитися з будь-якого ракурсу, наблизити, віддалити, внести необхідні корективи. Отримана модель вже готова для подальшого використання: друку на

3D-принтери, 3D- фрезерування на верстатах з ЧПК або будь-якого іншого методу прототипування. Існують наступні види тривимірних моделей:

- полігональна модель;
- NURBS поверхні.

Другі мають більш високий рівень точності, так що їх найчастіше використовують інженери, машинобудівники і архітектори. Полігональні моделі частіше використовуються для створення 3D-зображень в мультиплікації, кінематографі та комп'ютерних іграх. Вони складаються з численних найпростіших геометричних фігур, які називають примітивами.

Під геометричним моделюванням розуміють створення моделей геометричних образів, що містять інформацію про геометрію об'єкта. Структуру графічного моделювання наведено на рисунку 2.1.

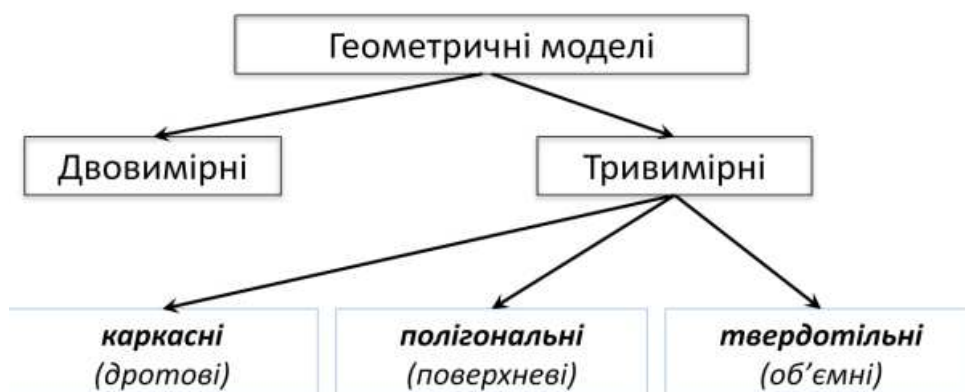


Рисунок 2.1 – Класифікація геометричних моделей об'єктів

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 використовувався (і використовується 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, найвідомішим їх представником – **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.

Під моделлю геометричного образу будемо розуміти сукупність відомостей, однозначно визначають його форму. Наприклад, точка може бути представлена двома (двовимірною моделлю) або трьома (тривимірною моделлю) координатами; коло – координатами центру та радіусом тощо.

Двовимірні моделі дозволяють формувати і змінювати кресленики; тривимірні моделі призначені для представлення виробу в трьох вимірах.

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 проєктування. 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.

Для тривимірних моделей прийнята наступна класифікація:

- каркасні (дротові) моделі – задані координатами вершин і з'єднують їх ребрами;

- полігональні (поверхневі) моделі – задані поверхнями (площинами, поверхні обертання та ін.)

- твердотілі (об'ємні) – формуються з елементарних об'єктів (базисних тіл) з використанням логічних операції об'єднання, віднімання, перетину.

2.2 Каркасне моделювання

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. Даний вид роботи варто розглядати, головним чином, як етап допоміжних побудов для тривимірного проектування більше високого рівня.

Завдання геометричного моделювання є важливою областю САПР. Оскільки дані про фізичні об'єкти реального світу не можуть бути цілком введені в комп'ютер, необхідно обмежити обсяг інформації про об'єкт, наприклад:

Які частини об'єкта є видимими?

Який колір повинен бути присвоєний кожному елементу об'єкта?

Яка площа поверхні об'єкта, який об'єм займає об'єкт і яку масу він має?

Чи не перетинається об'єкт з іншими об'єктами?

Знаходиться об'єкт всередині або зовні іншого об'єкта?

І якщо буде вибрано відповідне подання геометричної моделі об'єкта для обумовленого кола завдань, вона буде вирішена ефективно, і навпаки.

Геометричні моделі в САПР використовуються для вирішення багатьох завдань: візуалізації, побудови розрахункових сіток, генерації керуючих програм числового програмного керування та ін. В першу чергу вони призначені для зберігання інформації про форму об'єктів, їх взаємне розташування і надання її для обробки в зручному для комп'ютерної програми вигляді. У цьому ключова відмінність електронної геометричної моделі від кресленика, який представляє собою умовне символно-графічне зображення, призначене для читання людиною.

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 допо-

магають більш чітко уявляти модель і надійно контролювати взаємне розташування складових її елементів. Крім того, каркаси можна використовувати і для створення проєкційних видів. Досить прості структури даних і алгоритми роботи з каркасами дозволили реалізувати їх на малопотужному обладнанні кінця 70-х років минулого століття. (Рисунок 2.2)

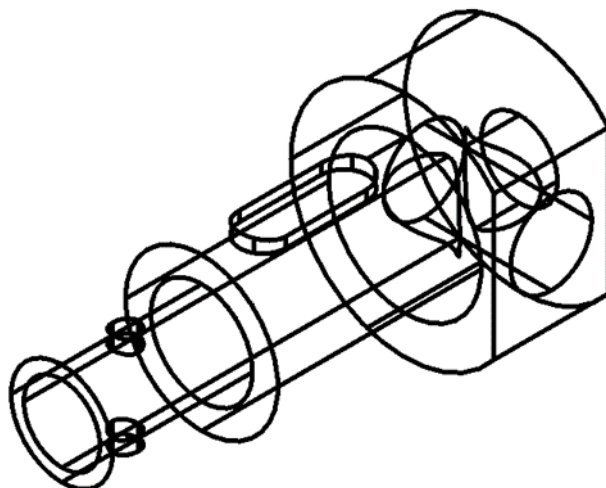


Рисунок 2.2 – Каркасна модель теоретичних обводів вала

Недолік каркасного представлення моделей полягає в тому, що програми не можуть відобразити всі особливості поверхонь, що визначаються каркасами, і це унеможлиблює побудову, наприклад, точних перетинів. Візуальне представлення досить аскетичне і в ряді випадків не дає можливості однозначно інтерпретувати побачене.

Проте навіть така, що має безліч обмежень, технологія дозволила істотно розширити функціональні можливості САПР в порівнянні з 2D-системами. В даний час побудова каркасів також використовується в геометричному моделюванні САПР, але лише як допоміжна система проміжних побудов.

2.3 Поверхневе моделювання

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.

Геометричні моделі на основі поверхневого представлення 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. (Рисунок 2.3)

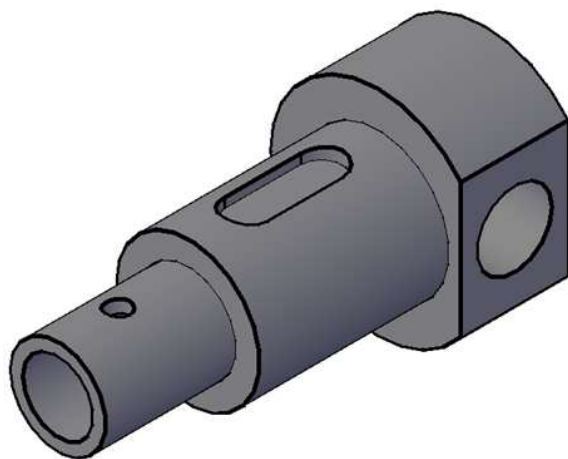


Рисунок 2.3 – Поверхнева модель теоретичних обводів вала

Поверхневі моделі розрізняються за способом апроксимації поверхні. Простіший 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». Для досягнення високої точності потрібно створення сіток з малим кроком, що веде до зростання вимог до обчислювальних можливостей системи.

Цих недоліків позбавлена технологія NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline, неоднорідний B-сплайн), сьогодні найбільш часто використовувана в практиці САПР. Такий опис поверхні забезпечує визначення координат будь-якої її точки, радіуса кривини в ній, напрямку нормалі до поверхні з високою (в загальному випадку без урахування обчислювальних витрат) будь-якою наперед заданою точністю. Певним недоліком такого підходу є складність алгоритмів роботи з NURBS.

Традиційно в САПР використовуються кілька типових контекстів створення поверхонь:

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

- поверхня витяжки – утворюється в результаті плоскопаралельного витягання замкнутого або розімкнутого 2D- ескіза в напрямку, перпендикулярному площині ескізу, або під довільним кутом;

- поверхня обертання – утворюється обертанням довільного профілю щодо вісі;

- поверхня по траєкторії – утворюється рухом ескізу уздовж криволінійної твірної (2D або 3D-ескіз, 3D-крива) і довільного числа напрямних кривих (2D або 3D-ескіз, 3D-крива), які деформують вихідний контур;

- поверхня по перетинах – аналог поверхні по траєкторії; відрізняється тим, що будується не по одному, а по декільком поперечним перетинам з направляючими кривими;

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

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

- еквідистантна поверхня – утворюється зміщенням на певну відстань від існуючих граней або поверхонь;
- поверхня роз'єму – використовується при проєктуванні ливарних форм в якості допоміжної геометрії для поділу матриці та пуансона;
- серединна поверхня – створюється на середині (або заданому відсотку) товщини тонкостінної деталі;
- лінійчата поверхня – будується під кутом до обраної кромки та 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.

2.4 Твердотіле 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.

Поверхневі 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 плоскопаралельного витягування замкнутого або розімкнутого 2D / 3D-ескізу в напрямку, перпендикулярному 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 проектуванні 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 поверхонь, 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 проєкту, 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 поверхневим 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. Математичний опис об'єкта, створеного в системі твердотільного моделювання, містить відомості, за якими система може визначити, де знаходиться якась точка: всередині об'єму, зовні нього або на його межі. За цими відомостями можна отримати будь-яку інформацію про об'єм тіла, а отже, можуть бути написані додатки, що працюють з об'єктом на рівні об'єму, а не на рівні поверхні.

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 2.4) 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 2.5). Криволінійні сегменти, що обмежують грань, називаються ***ребрами***. Точки, в яких зустрічаються сусідні ребра, називаються ***вершинами***.

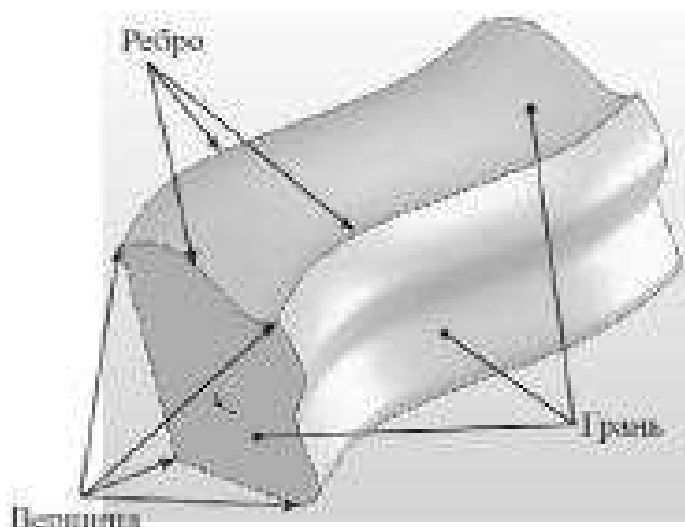


Рисунок 2.4 – Тверде тіло

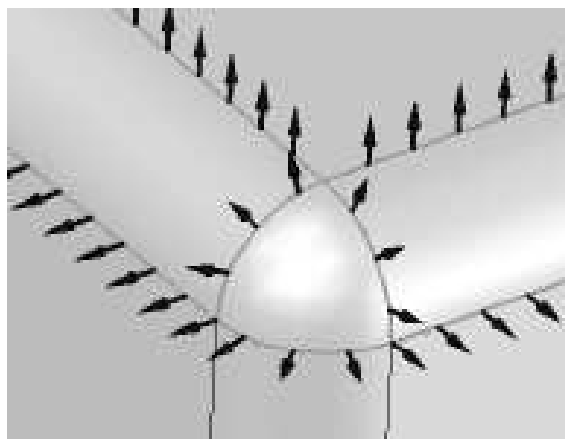


Рисунок 2.5 – Грані, ребра і нормалі до поверхні

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 2.6)

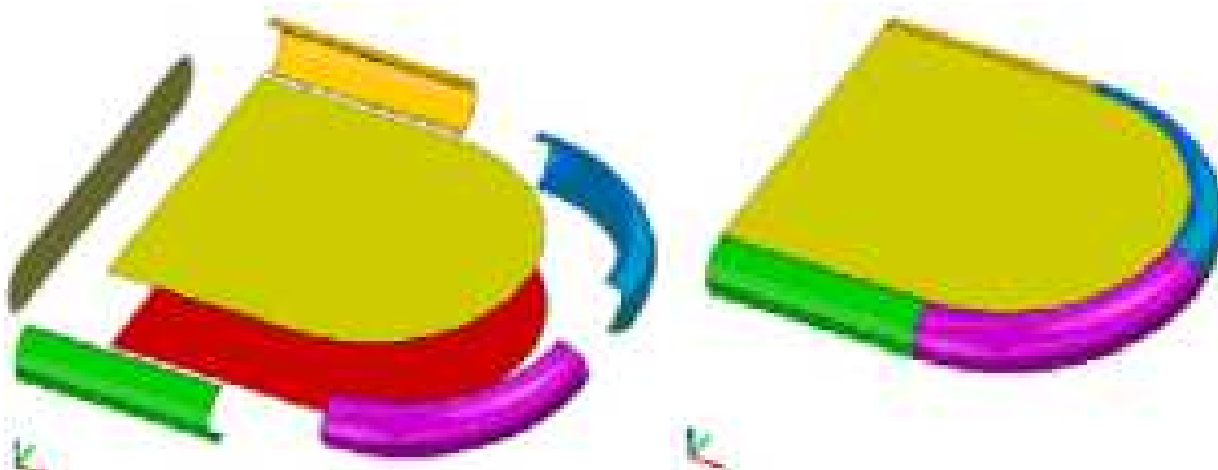


Рисунок 2.6 – Представлення простих твердих тіл

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 2.7).

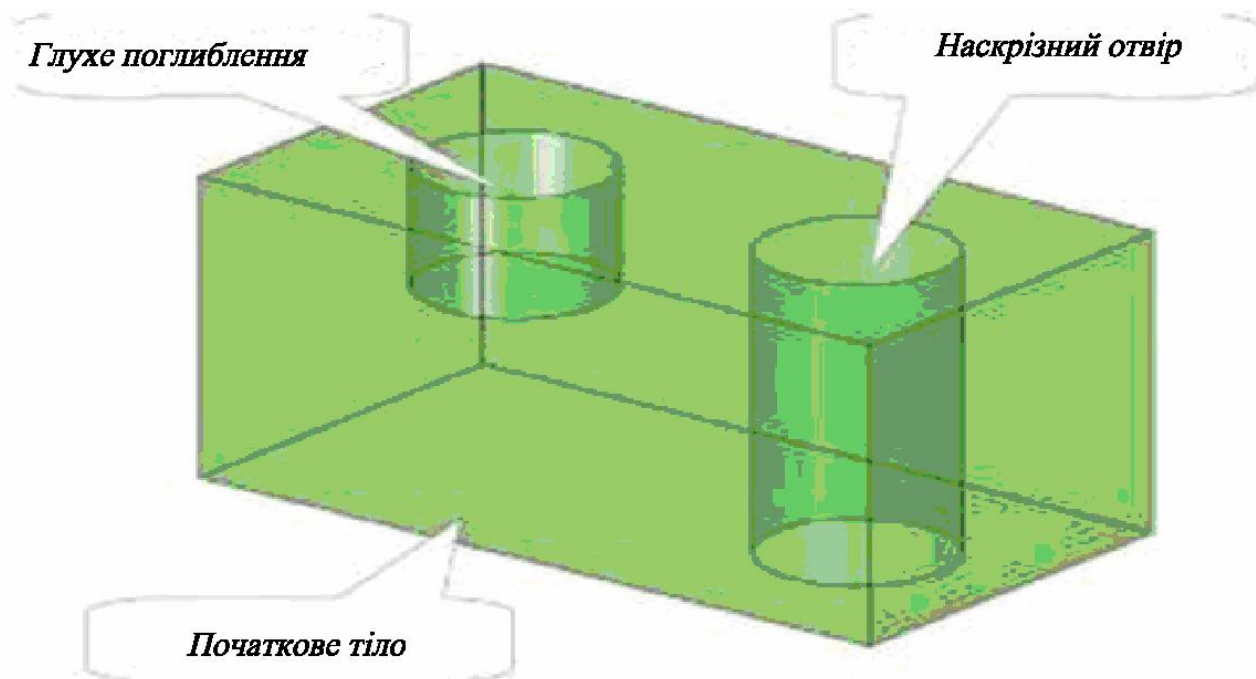


Рисунок 2.7 – Представлення складних твердих тіл

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.

2.5 Основні поняття параметричного конструювання

Процес проєктування і конструювання, як правило, інтерактивний і передбачає перебір кількох варіантів, тому спрощення та автоматизація побудови моделі майбутнього виробу є однією з найважливіших задач САПР. Одним з широко поширених методів вирішення цього завдання є параметричне проєктування (або просто параметризація), засноване на моделюванні деталей і виробів з використанням параметрів елементів моделі і співвідношень між цими параметрами. Параметризація дозволяє за короткий час перебрати за допомогою зміни параметрів або геометричних відносин різні конструктивні схеми, вибрати оптимальні рішення і уникнути принципових помилок.

Визначити мету конструювання досить просто, проте процес пошуку оптимального рішення складний і вимагає гармонійного поєднання різних методів автоматизованого конструювання виробів. Параметричне конструювання як методологія автоматизованої розробки є основою для паралельного ведення проєктно-конструкторських робіт і дозволяє уточнити кінцеву мету конструювання вже на ранніх стадіях реалізації проєкту, що і визначає ефективність поєднання процесів конструювання, інженерного аналізу та виробництва на єдиному часовому інтервалі і їх взаємної інтеграції. Параметризація передбачає використання різних видів взаємозв'язків між компонентами моделі і додатками, які використовують дану модель.

Використання технології параметричного конструювання дозволяє, при необхідності, легко змінювати форму моделі, в результаті чого користувач має можливість швидко і ефективно отримувати альтернативні конструкції або пере-

глянути концепцію виробу в цілому. При відсутності коштів забезпечення параметричного конструювання модель визначена однозначно тільки своєю геометрією, тому внесення навіть найменших змін вимагає значних трудових витрат. Зміни ж параметричної моделі виконуються так само легко, як і зміни значення розмірів на креслениках.

Параметризація – концепція, яка охоплює всі методи для вирішення задач конструювання. Важливою особливістю сучасної концепції параметричного конструювання є, перш за все, можливість створення геометричної моделі з використанням зв'язків і правил, які можуть перевизначатися і доповнюватися на будь-якому етапі її створення. Зв'язки представляються у вигляді розмірних, геометричних і алгебраїчних співвідношень. Правила ж визначаються як умови виконання базової операції (наприклад, наскрізний або «глухий» отвір).

Параметричне проєктування істотно відрізняється від звичайного двомірного креслення або тривимірного моделювання. У разі параметричного проєктування створюється по суті математична модель об'єктів з параметрами, при зміні яких відбуваються зміни конфігурації і розмірів деталей, їх взаємного розташування в збірках.

На практиці застосовується досить багато різних методів параметризації, на сьогоднішній день немає однозначно кращого рішення.

В сучасних САПР середнього і важкого класів наявність параметричної моделі закладено в ідеологію самих САПР. Існування параметричного опису об'єкта є базою для всього процесу проєктування.

Виділяють наступні види параметризації:

- таблична параметризація;
- ієрархічна параметризація;
- варіаційна (розмірна) параметризація;
- геометрична параметризація.

2.6 Види параметризації

Таблична параметризація полягає в створенні таблиці параметрів типових деталей. Створення нового примірника деталі проводиться шляхом вибору з таблиці типорозмірів. Можливості табличної параметризації вельми обмежені, оскільки завдання довільних нових значень параметрів і геометричних відносин зазвичай неможливо.

Однак таблична параметризація знаходить широке застосування у всіх параметричних САПР, оскільки дозволяє істотно спростити і прискорити створення бібліотек стандартних і типових деталей, а також їх застосування в процесі конструкторського проектування.

Ієрархічна параметризація (параметризація на основі історії побудов) полягає в тому, що в ході побудови моделі вся послідовність побудови відображається в окремому вікні у вигляді «дерева побудови». У ньому перераховані всі існуючі в моделі допоміжні елементи, ескізи і виконані операції в порядку їх створення.

Крім «дерева побудови» моделі, система запам'ятовує не тільки порядок її формування, а й ієрархію її елементів (відносини між елементами). Наприклад, збірки – підзбірки – деталі. Параметризація на основі історії побудов присутня практично у всіх САПР, які використовують тривимірне твердотіле параметричне моделювання. Зазвичай такий тип параметричного моделювання поєднується з варіаційною та/або геометричною параметризацією.

Варіаційна, або розмірна, параметризація заснована на побудові ескізів (з накладенням на об'єкти ескізу різних параметричних зв'язків) і накладенні користувачем обмежень у вигляді системи рівнянь, що визначають залежності між параметрами.

Процес створення параметричної моделі з використанням варіаційної параметризації виглядає наступним чином:

- На першому етапі створюється ескіз (профіль) для тривимірної операції. На ескіз накладаються необхідні параметричні зв'язки.

- Далі ескіз «оброзмірюється». Уточнюються окремі розміри профілю. На цьому етапі окремі розміри можна позначити як змінні (наприклад, присвоїти ім'я Length) і задати залежності інших розмірів від цих змінних у вигляді формул (Рисунок 2.8).

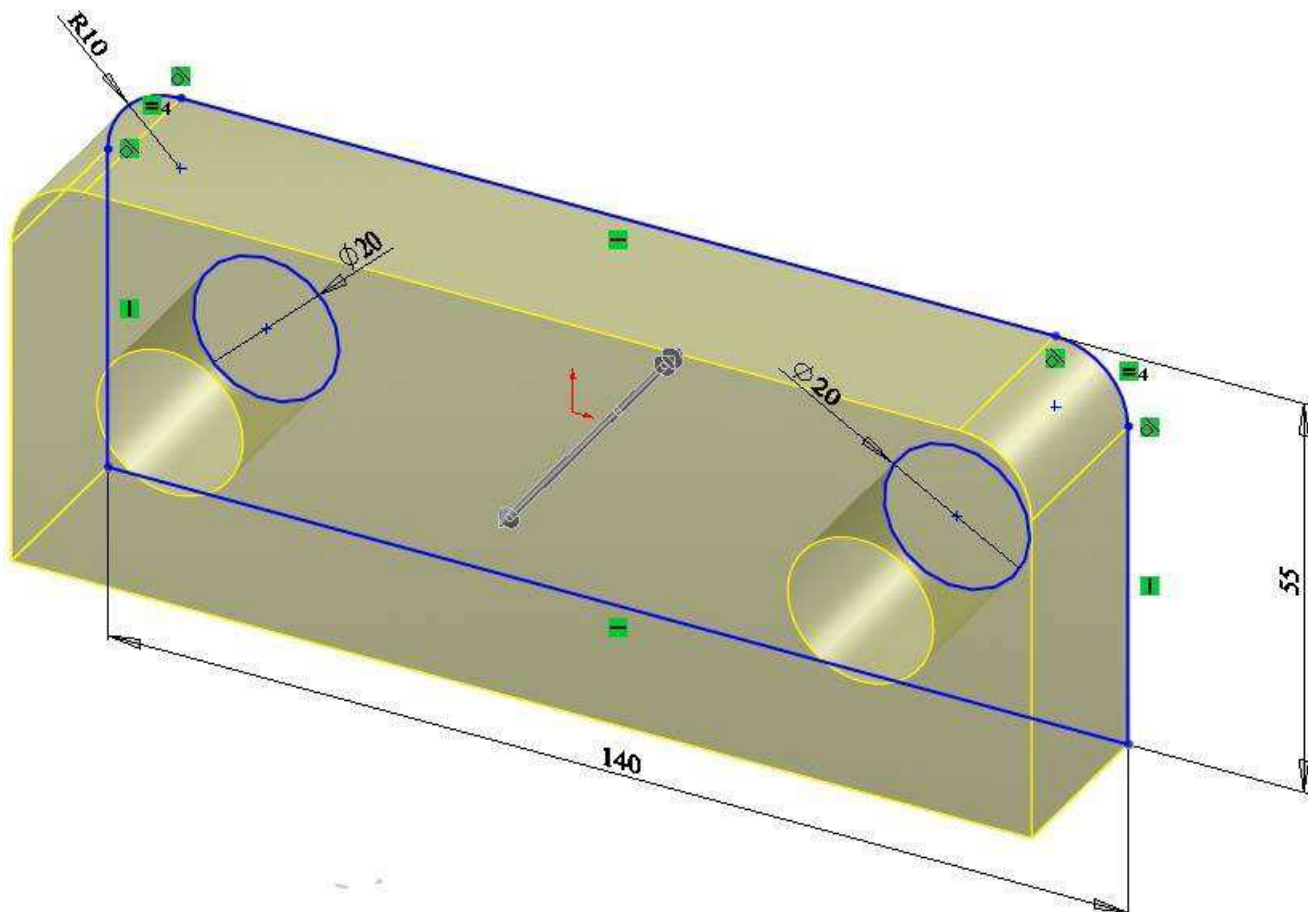


Рисунок 2.8 – Геометрична модель з варіаційною параметризацією

- Проводиться тривимірна операція (наприклад, видавлювання). Значення атрибутів операції теж служить параметром (наприклад, величина видавлювання).

- У разі необхідності створення збірки взаємне розташування -компонентів збірки задається шляхом вказівки сполучень між ними (збіг, паралельність або перпендикулярність граней і ребер, концентричність центрів отворів, розташування об'єктів на відстані або під кутом один до одного та ін.).

Варіаційна параметризація дозволяє легко змінювати форму ескізу або величину параметрів операцій, що дозволяє зручно модифікувати тривимірну модель.

Геометричною параметризацією називається параметричне моделювання, при якому геометрія кожного параметричного об'єкта перераховується в залежності від положення батьківських об'єктів, його параметрів і змінних.

Параметрична модель в разі геометричної параметризації складається з елементів побудови та елементів зображення. Елементи побудови (конструкторські або допоміжні лінії) задають параметричні зв'язку. До елементів зображення належать лінії зображення (якими обводяться конструкторські лінії), а також елементи оформлення (розміри, написи, штрихування і т. д.).

Одні елементи побудови можуть залежати від інших елементів побудови. Елементи побудови можуть включати в себе і параметри (наприклад, радіус кола або кут нахилу прямої). При зміні одного з елементів моделі всі залежні від нього елементи перебудовуються відповідно до своїх параметрів і способів їх завдання.

Процес створення параметричної моделі методом геометричної параметризації виглядає наступним чином:

- На першому етапі конструктор задає геометрію профілю – конструкторськими лініями, відзначає ключові точки.
- Потім проставляє розміри між конструкторськими лініями. На цьому етапі можна задати залежність розмірів друг від друга.
- Потім обводить конструкторські лінії лініями зображення – виходить профіль, з яким можна здійснювати різні тривимірні операції.

Наступні етапи в цілому аналогічні процесу моделювання з використанням методу варіаційної параметризації. Геометрична параметризація забезпечує можливість більш гнучкого редагування моделі. У разі необхідності внесення незапланованих змін в геометрію моделі необов'язково видаляти вихідні лінії побудови (це може привести до втрати асоціативних взаємозв'язків між елементами моделі), можна провести нову лінію побудови і перенести на неї лінію зображення.

2.7 Асоціативне та об'єктно-орієнтоване конструювання

Асоціативне конструювання (Associative Design) – це узагальнююча назва технології параметричного конструювання, що забезпечує єдиний, в тому числі і двосторонній, інформаційний взаємозв'язок між геометричною моделлю, розрахунковими моделями, програмами для виготовлення виробу на верстатах з ЧПК, конструкторською документацією, базою даних проєкту.

Використання технології асоціативного конструювання дозволяє, при необхідності, змінювати форму моделі і отримувати автоматично перебудовані кресленики або траєкторії інструменту для обробки на верстатах з ЧПК.

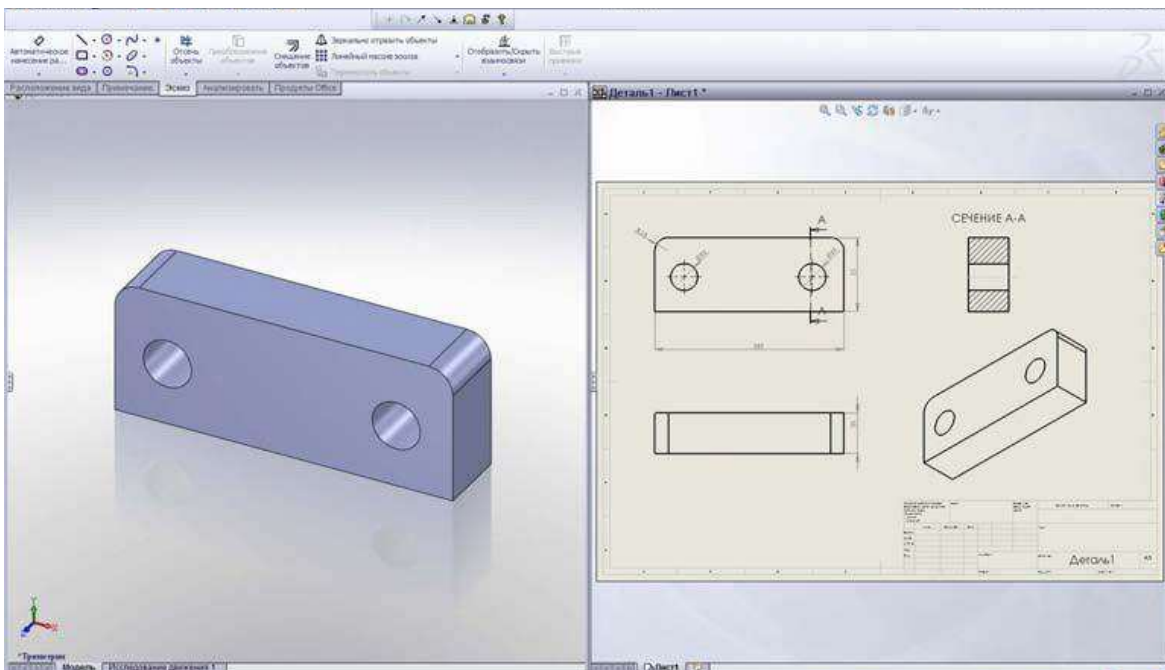


Рисунок 2.9 – Конструкторський кресленик, асоціативно пов'язаний з геометричною моделлю

Окремим випадком асоціативного конструювання є технологія асоціативної геометрії, яку також називають спрямованою асоціативністю (directed associativity). Це технологія асоціативного конструювання, яка базується на безпосередніх взаємозв'язках між об'єктами. Найпростіший приклад – визначення паралельності двох відрізків. Відрізок A може бути визначений паралельно відрізку B . В результаті при переміщенні відрізка B відрізок A також змінить своє по-

Цей підхід реалізований на основі певного набору правил і атрибутів, що задаються при виконанні базової операції, на додаток до вже заданих зв'язків і асоціативної геометрії. Базові операції є високоефективним інструментом для створення геометричної моделі конструкції, інженерного аналізу або виготовлення. Об'єктно-орієнтоване моделювання надає в розпорядження користувача макрофункції, раніше визначені як послідовність дій, які використовують булеві операції. Наприклад, наскрізний отвір може бути представлено як булева операція віднімання і циліндр достатньої довжини, більшої, ніж поточна товщина деталі. Але якщо модель стане товще, то циліндр вже не буде мати достатньої довжини і отвір перетвориться в «глухий». Однак під наскрізним отвором розуміється додаткове правило, яке визначає наскрізний прохід в зазначеному місці через тіло моделі, незалежно від того, змінилася форма моделі чи ні. Базові операції також можуть мати і додаткові атрибути, які використовуються в інших додатках, таких як аналіз і виготовлення. Обов'язкові вимоги до базових операцій при об'єктно-орієнтованому моделюванні:

- базова операція, яка використовується, має бути повністю визначеною. Після виконання базової операції її топологія повинна зберігатися і розпізнаватися як базова операція (отвір, паз та ін.), а також надавати можливість зміни її геометричних параметрів (діаметр, глибина та ін.);

- визначення базової операції повинно включати в себе правила, що визначають поведінку геометричної форми, а також засоби контролю за дотриманням цих правил після виконання базової операції. Наприклад, наскрізний отвір має залишатися таким, в той час як форма моделі піддається зміні;

- для підвищення ефективності процесу паралельної розробки програми для інженерного аналізу і виготовлення повинні мати доступ до опису об'єкта, не вимагаючи при цьому від користувача інформації про об'єкт, використаної раніше при виконанні базової операції.

Вже існуючі типи конструктивних елементів можуть бути використані для створення нових типів шляхом успадкування всіх властивостей вихідних об'єктів і додавання нових атрибутів і поведінки. Обов'язковим компонентом об'єктно-

орієнтованого конструювання є механізми створення конструктивного елемента і його оновлення шляхом зміни даних кожного елемента. Запуск механізму поновлення при зміні даних автоматично ініціює операцію його створення, а так як ці механізми успадковуються всіма конструктивними елементами від базового типу, забезпечується сумісність структур даних для всього набору елементів. Конструктивні елементи включені в загальний цикл поновлення, таким чином, будь-яка зміна даних призводить до автоматичного оновлення моделі відповідно до правил побудови і даними для кожного елемента.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть види геометричних моделей.
2. Вкажіть особливості каркасних моделей.
3. В чому відмінність між поверхневим та твердотілим моделюванням?
4. Назвіть переваги та недоліки каркасних моделей.
5. Назвіть види тривимірних моделей.
6. У чом полягає суть параметричного конструювання?
7. Назвіть види параметризації.
8. Поясніть сутність табличної параметризації.
9. Поясніть відмінності між ієрархічною параметризацією і варіаційною параметризацією.
10. Вкажіть особливості ієрархічної параметризації.
11. Для чого використовується асоціативна параметризація?
12. У чому суть методу об'єктно-орієнтованого конструювання?
13. Якими механізмами здійснюється зміна моделі при зміні даних, які входять до конструктивного елемента?
14. Опишіть етапи створення параметричної моделі методом геометричної параметризації.
15. Вкажіть переваги та недоліки параметричного конструювання.

ТЕМА 3

ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНИХ CAD-СИСТЕМ

Зміст теми:

- 3.1 Загальна характеристика 2D CAD-систем
- 3.2 Ієрархія об'єктів в CAD-системах
- 3.3 Спеціалізовані модулі 2D-програм
- 3.4 Загальна характеристика 3D CAD-систем
- 3.5 Генератор креслеників
- 3.6 Системи промислового дизайну

3.1 Загальна характеристика 2D CAD-систем

Проектування за допомогою комп'ютера (Computer-Aided Design, CAD) – термін, який використовується для позначення широкого спектру комп'ютерних інструментів, які допомагають інженерам, архітекторам та іншим професіоналам в здійсненні проектування. Будучи ключовим інструментом в рамках концепції управління життєвим циклом виробу (PLM), CAD-системи включають в себе безліч програмних і апаратних засобів – від систем двовимірного креслення до тривимірного параметричного моделювання поверхонь і об'ємних тіл.

По областям застосування автоматизоване проектування традиційно підрозділяється на архітектурно-будівельне (AEC CAD), механічне (MCAD), проектування електронних приладів і пристроїв (EDA).

Історично CAD-системи почалися з 2D-програм, що забезпечують створення традиційних креслеників в електронному вигляді. Це значно знизило трудомісткість створення і особливо модифікації і тиражування конструкторської документації. 2D CAD залишаються досить популярними і в даний час. Вони використовуються і як самостійні системи, і як допоміжні додатки до 3D-систем, забезпечуючи професійне оформлення креслярської документації. Креслярські CAD-системи є універсальним інструментом, так як їх образотворчі можливості

використовуються для виконання як машинобудівних, так і архітектурно-будівельних креслеників, електричних і гідравлічних принципових схем, планів місцевості та ін.

Найбільш типовим представником сімейства креслярських редакторів є AutoCAD, який, незважаючи на те, що в ньому присутні і інструменти 3D-модеювання, часто використовується саме як «електронний кульман». Полегшена версія AutoCAD LT призначена тільки для 2D-креслення (Рисунок 3.1).

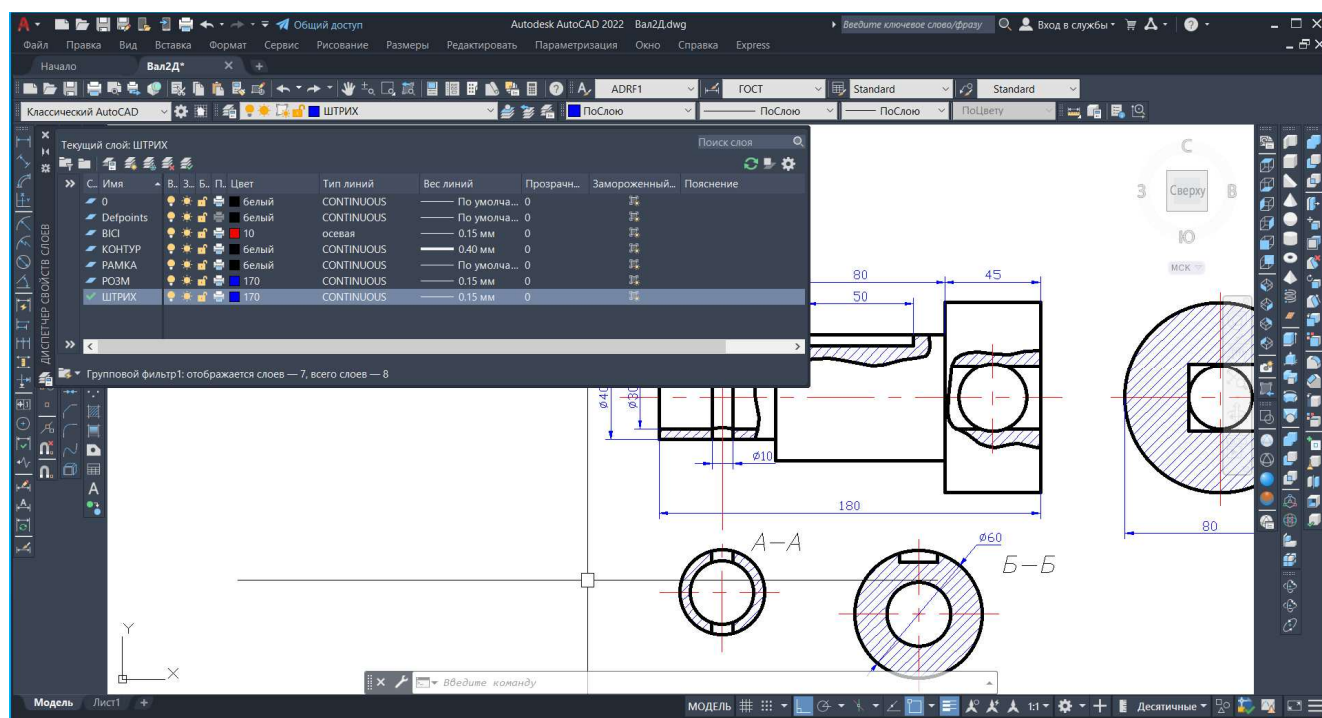


Рисунок 3.1 – Робоча сесія AutoCAD

У складі розвиненого 2D-пакета традиційно існують інструменти побудови типових геометричних елементів: ліній, дуг, кіл, еліпсів, сплайнів кривих. Для прискорення процесу креслення також автоматизовано побудови прямокутників, багатокутників, заливку області різними типами штриховок. При побудові широко використовуються так звані об'єктні прив'язки – автоматичне визначення координат базових точок, побудови по вже існуючим в кресленні об'єктам: граничній точці або середині відрізка, найближчій точці на контурі, центру дуги або кола та ін.

Спеціалізовані інструменти забезпечують створення текстових елементів, виносок і анотацій. Автоматизоване проставлення розмірів забезпечує швидке «образмірювання» креслень відповідно до національних і галузевих стандартів.

3.2 Ієрархія об'єктів в CAD-системах

Традиційно ієрархія об'єктів в 2D CAD заснована на парадигмі шарів (layers). При такому підході кресленики складаються з стопки прозорих аркушів, для яких можливе управління видимістю, доступом до редагування, загальними параметрами для всіх об'єктів шару - типом, кольором ліній та ін. Таким чином, різні елементи кресленика можна і потрібно розташовувати на своїх шарах, наприклад, на плані будівлі так можна розділити контури стін, елементи електропроводки, трубопроводів.

Всередині шару об'єкти можна збирати в групи (groups), які при базовому редагуванні мають себе поводити (переміщення, повороти, масштабування) як єдиний цілісний об'єкт.

Окремою сутністю є так звані блоки (blocks), що представляють собою окремі кресленики, завантажені в окрему область пам'яті, а їх вставки (inserts) в основний кресленик є лише посиланням на блоки, забезпечені інформацією про місце вставки, кут повороту і масштаб. Цей механізм дозволяє істотно економити ресурси комп'ютера і час на створення типових і елементів, які часто зустрічаються на кресленіку. Блоки можуть бути оформлені і як зовнішні посилання на безпосередньо файли креслеників (external reference). В цьому випадку забезпечуються базові можливості колективної роботи, коли окремі елементи кресленика створюються різними розробниками.

Інтерфейс користувача в інших системах 2D-креслення є в достатній мірі загальноприйнятим і часто повторює інтерфейс AutoCAD. Він заснований на використанні системи команд, які можна вводити в командний рядок, а також продубльований набором меню і піктограм, які по суті автоматизовано виконують ті ж команди. Вказівка координат може проводитися як шляхом їх введення в ко-

мандний рядок, так і шляхом позиціонування перехрестя курсору в полі кресленника. Цим же курсором елементи креслення можуть вибиратися як індивідуально, так і груповим методом. При виборі геометричних елементів з'являються рукоятки (handles), що забезпечують можливість детального редагування об'єктів, а також надаються панелі параметрів (property sheets), що дають можливість налаштувати числові і текстові параметри об'єктів (Рисунок 3.2).

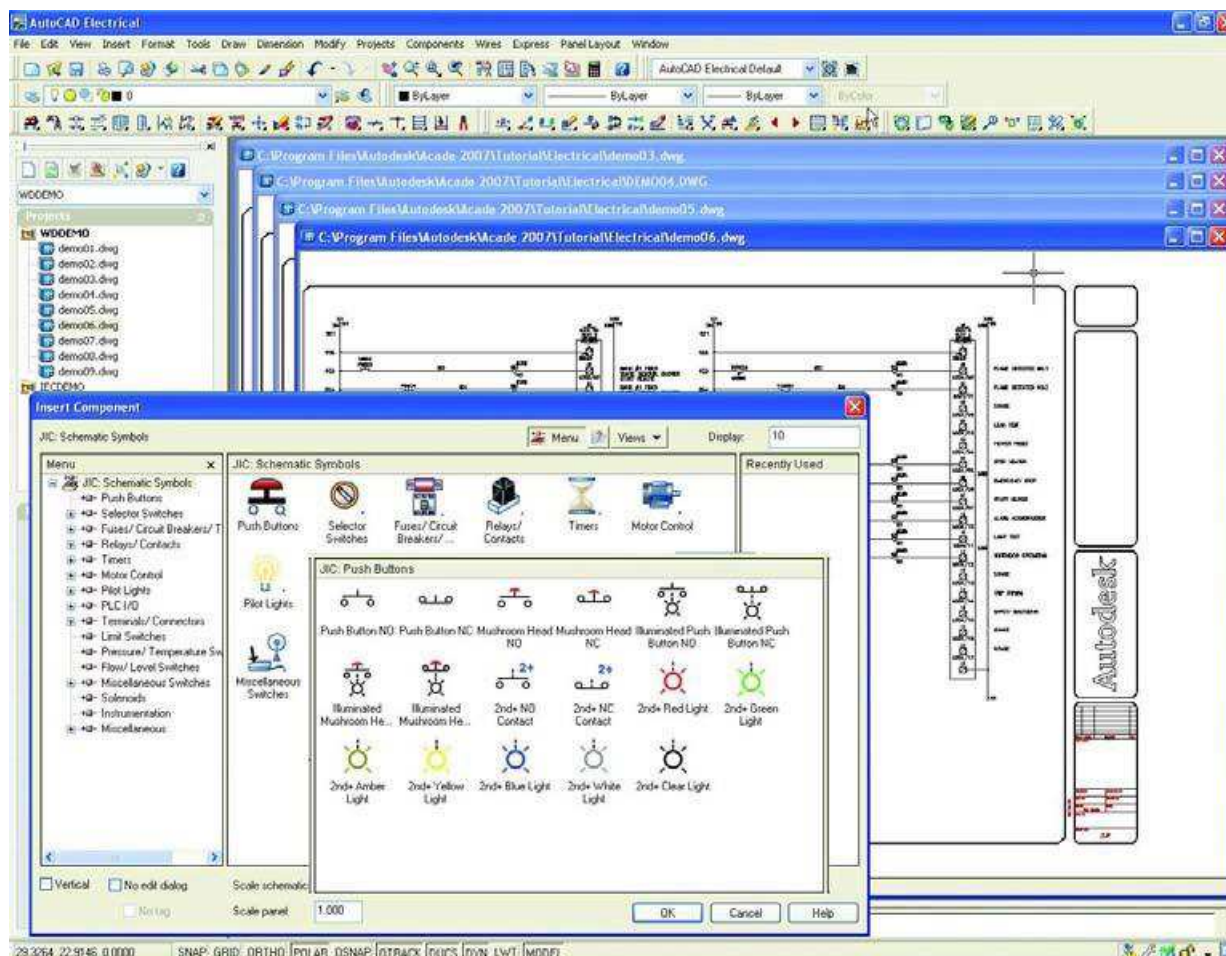


Рисунок 3.2 – Використання блоків позначень електротехнічних компонент в AutoCAD Electric

3.3 Спеціалізовані модулі 2D-програм

Для підвищення ефективності роботи в конкретних прикладних областях на базі універсальних редакторів прийнято створювати набори спеціалізованих модулів, що прискорюють виконання типових креслярських операцій: побудова стін,

трубопроводів, кріпильних елементів та ін. Такі програмні модулі, як правило, доповнюються великими наборами бібліотек типових конструктивних елементів.

Таким чином, на базі універсальної платформи AutoCAD створені кілька спеціалізованих видів продуктів: AutoCAD Architecture для архітектурно-будівельного проектування, AutoCAD Civil 3D – для проектування інфраструктури, AutoCAD Electrical для роботи з електротехнічними проектами, AutoCAD Map 3D для створення і управління картографічними даними, AutoCAD Mechanical для виконання машинобудівних креслень, AutoCAD MEP для проектування інженерних систем будівель, AutoCAD Raster Design для обробки раніше напрацьованої паперової документації, що дозволяє підчищати, редагувати і створювати креслення, що складаються зі змішаних растрових і векторних даних, а також перетворювати відскановані кресленики у векторну форму.

Серед західних компаній - розробників САПР позначилася тенденція випускати «полегшені» безкоштовно поширювані 2D-версії креслярських редакторів своїх 3D-систем. На думку розробників, це повинно стимулювати ринок до більш швидкого переходу з технологій двовимірного проектування на об'ємне параметричне моделювання. Такі додатки випустили Dassault SolidWorks – DWGseries, засновані на технології IntelliCAD, Siemens PLM Software (колишня Unigraphics) – Solid Edge 2D Drafting. Solid Edge 2D Drafting полегшує перехід з двовимірного кресленика в AutoCAD за допомогою майстрів імпорту, сумісних шрифтів і кольорних схем, підтримки зовнішніх посилань типу XREF і роботи в просторі листа / моделі, а також багатьох інших функцій. Освоєння системи спрощується за рахунок наявності вбудованої системи пошуку команд Command Finder – користувачеві немає необхідності запам'ятовувати еквіваленти команд AutoCAD. Останнім часом стали популярні недорогі або безкоштовні клони AutoCAD, що базуються на платформі IntelliCAD, альтернативні базовій програмі для комп'ютерного креслення і найпростішого 3D-моделювання. Власником коду IntelliCAD Technology Consortium (ІТС) – є міжнародна організація (консорціум), яка об'єднує розробників САПР. Цілями організації є розробка і підтримка DWG-сумісної програмної платформи IntelliCAD. Учасники консорціуму «надбудовують» і адаптують плат-

форму, а також займаються просуванням системи під власними торговими марками.

САПР IntelliCAD будується на програмній бібліотеці DWGdirect, розробленій некомерційною організацією Open Design Alliance (Рисунок 3.3).

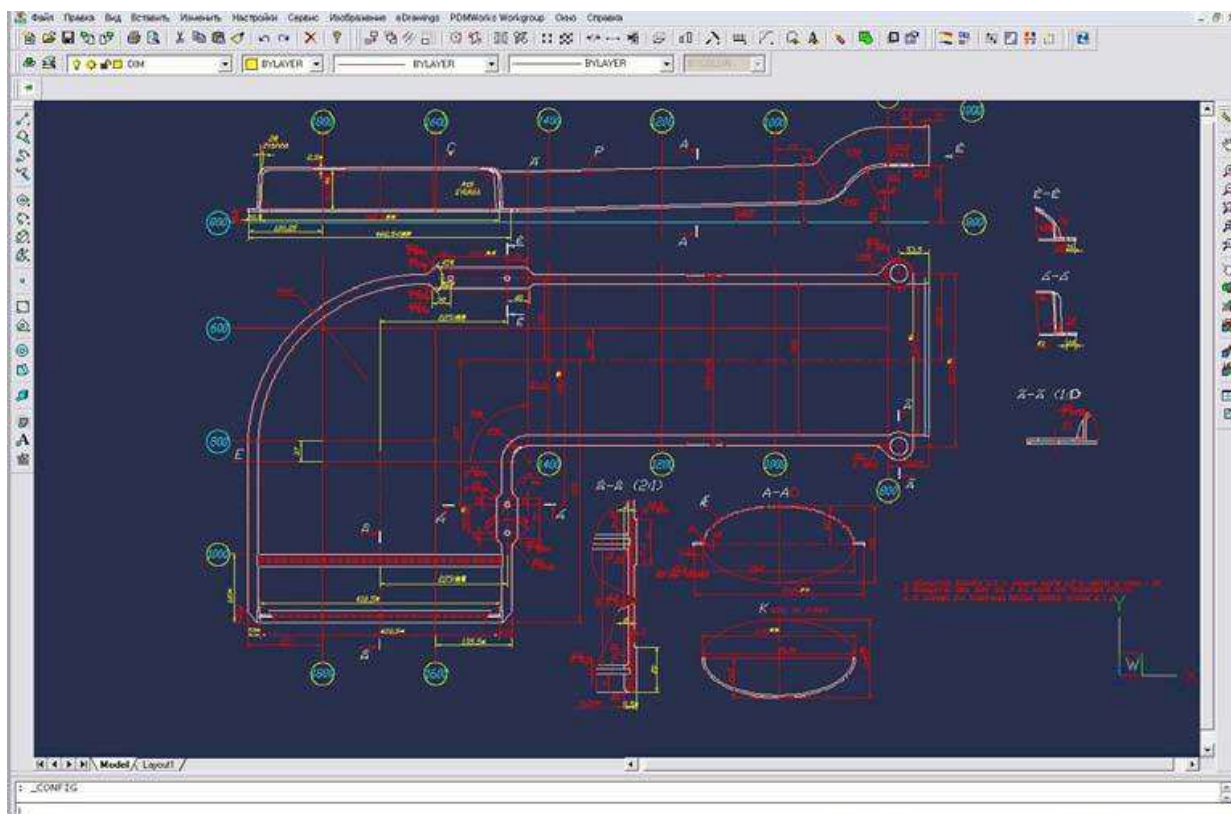


Рисунок 3.3 – SolidWorks DWG Editor побудований на платформі IntelliCAD

Основним «робочим» форматом файлів IntelliCAD є DWG. Інтерфейс систем на базі IntelliCAD дуже схожий на інтерфейс AutoCAD. Засоби користувальницької адаптації IntelliCAD сумісні з аналогічними засобами AutoCAD. До переваг цих систем можна віднести невисоку вартість – в межах 10-20% від вартості повного пакету AutoCAD. Однак є і недоліки, серед яких, перш за все, обмежена сумісність з оригінальним форматом файлів DWG від Autodesk. Найбільш частою і типовою причиною проблем сумісності є випадок, коли файл був створений в одному з вертикальних додатків на базі AutoCAD та містить специфічні елементи. В силу цих особливостей обмінюватися даними між AutoCAD і IntelliCAD слід з достатньою мірою обережності.

На сучасному ринку досить широко також поширені креслярські редактори, такі як T-FLEX CAD 2D компанії «Топ Системи» і ін. Їх відмітною особливістю можна назвати ретельну підтримку вимог ЄСКД і СНіП, а також високу ступінь параметризації креслярської геометрії.

2D-системи з моменту їх появи мають величезну популярність в силу ряду об'єктивних і суб'єктивних причин:

вони безумовно знизили трудомісткість оформлення якісної конструкторської та технологічної документації, так як відпала сама потреба в такій штатній одиниці, як кресляр;

- спростилася і здешевшала процедура архівування креслеників;
- потужні можливості модифікації і перевикористання вже існуючих креслеників багаторазово підвищили ефективність праці конструкторів;
- з'явилася можливість більш швидкого обміну інформацією при колективній роботі над проєктами;
- завдяки очевидній аналогії з роботою на кульмані 2D-системи досить просто впроваджуються і легко освоюються інженерами при мінімумі витрат на навчання;
- креслярські системи ефективно працюють на недорогому обладнанні, тому витрати на їх впровадження відносно невеликі;
- впровадження 2D CAD-систем не вимагало змін в існуючу виробничу структуру.

Проте вже практично з самого початку впровадження і використання 2D-систем було видно і їх недоліки, що перешкоджають більш повній автоматизації інженерної праці, підвищенню її ефективності, переходу до автоматизованого виробництва. Справа в тому, що кресленик – документ, за своєю суттю призначений для сприйняття людиною, тобто схематичне, часом неточне, символічне зображення проєктованих виробів (Рисунок 3.4.) Неточність зображень заповнюється великою кількістю спеціалізованих символів: розмірів, виносок, умовних позначень, написів та ін. Для повної автоматизації потрібна інформація, адаптована саме для комп'ютерної обробки та інтерпретації. Цьому завданню 2D-креслення в їх

класичному вигляді не відповідають, для цього потрібні повноцінні просторові (3D) і, навіть, просторово-тимчасові (4D) дані.

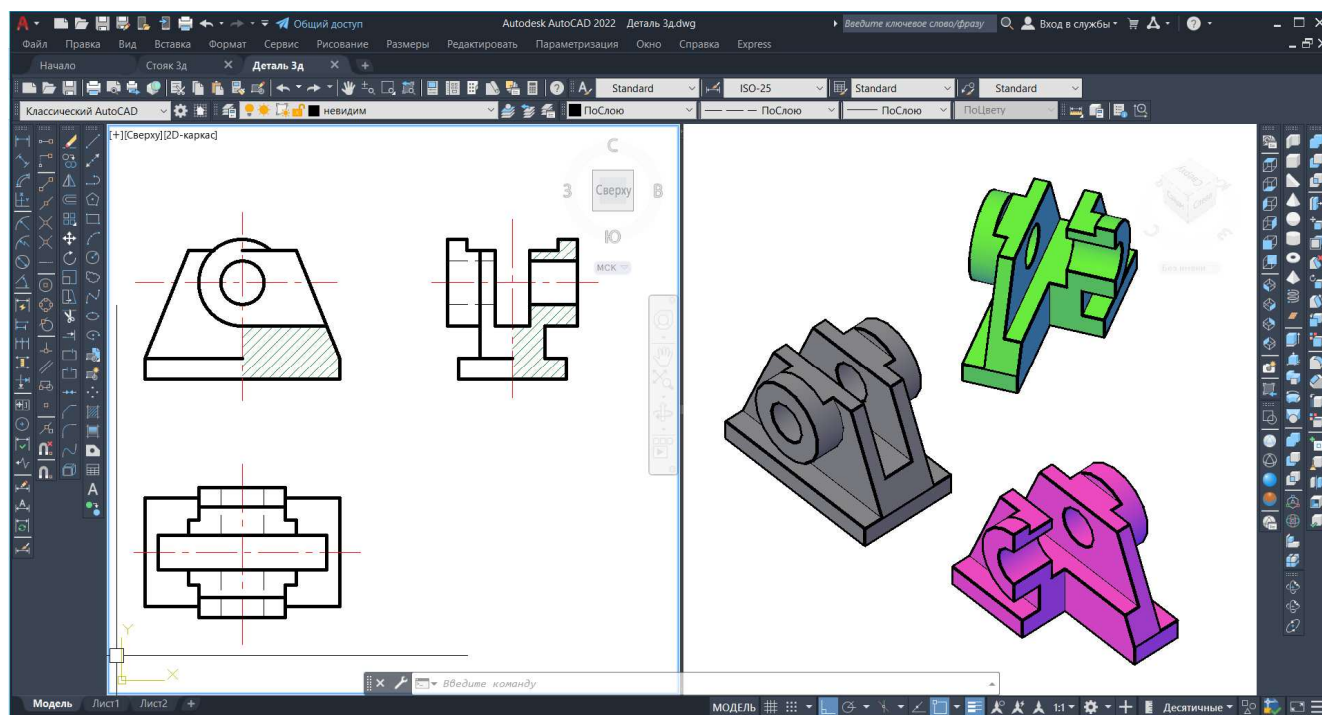


Рисунок 3.4 – Виконання кресленника в AutoCAD

3.4 Загальна характеристика 3D CAD-систем

Системи двомірного креслення далеко не в повній мірі задовольняють вимогам автоматизації проектної, конструкторської діяльності, завданням технологічної підготовки виробництва. Найчастіше на машинобудівних підприємствах, і не тільки, вирішується наступне коло конструкторських і виробничих завдань:

- опрацювання зовнішнього вигляду і внутрішньої компоновки вузлів і агрегатів;
- аналіз і оптимізація напружень, переміщень, коливань, теплових і температурних режимів;
- підготовка керуючих програм для верстатів з ЧПК;
- підготовка анімації збірок, реалістичних зображень виробу для презентацій, технічної документації (інструкцій по збиранню) та ін.;

- контроль якості виробів за допомогою лазерних вимірювальних пристроїв або координатно-вимірювальних машин;
- створення фізичних зразків методами швидкого прототипування;
- створення специфікацій, оцінки вартості, закупівель і планування ресурсів виробництва.

Всі ці завдання вимагають, щоб проєктувальник переніс задуманий ним в його уяві образ майбутнього виробу не у вигляді схематичного запису, а у вигляді віртуальної просторової моделі, яка описує не тільки геометрію, але і механічні, фізичні, оптичні та інші властивості матеріалів.

Для задоволення вказаних вище потреб було розроблено 3D CAD-системи. Першою такою системою вважається CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application), яку було випущено французькою компанією Dassault Systemes в 1981 році. Перші 3D-системи використовувалися в основному в аерокосмічній, автомобільній та інших машинобудівних галузях, тому для них став використовуватися термін MCAD (mechanical computer aided design).

Так як робота з 3D-даними вимагає істотних обчислювальних потужностей, спочатку всі ці системи працювали на потужних спеціалізованих робочих станціях під керуванням ОС Unix. Подібні рішення мали високу вартість як закупівлі ліцензій програмного забезпечення і самого обладнання, так і супроводу в процесі використання. Так тривало до кінця 1995 року, поки не вийшла перша версія системи SolidWorks.

Спочатку ця система була створена однойменною компанією для роботи на відносно недорогих персональних комп'ютерах під управлінням операційної системи Windows. Крім того, система мала надзвичайно дружній призначений для користувача інтерфейс. Протягом першого року SolidWorks придбала дуже високу популярність - 3D MCAD стала доступна сотням тисяч інженерів.

Слідом за SolidWorks з'явилися і інші продукти для персональних комп'ютерів - Autodesk Inventor, SolidEdge, T-FLEX CAD, а існуючі на ринку графіці почали спішно переносити свої системи з середовища робочих станцій Unix на персональні компютери з Windows. До кінця 90-х років практично не залишилося

реально використовуваних MCAD-систем для інших платформ. Тим часом SolidWorks, користуючись позицією технологічного лідера, постійно вдосконалюється, нові версії випускаються щорічно, і система донині залишається лідируючою 3D MCAD в світі. Решта систем, які з'явилися потім, багато в чому йдуть по її стопах. Ті, що існували раніше, запозичивши багато чого у SolidWorks в основному зосередилися на автоматизації великих корпорацій і виробництв. Архітектура 3D MCAD, реалізована в SolidWorks, стала по суті класичною. Більшість продуктів цього класу влаштовані аналогічно, тому, розглядаючи устрій сучасної 3D MCAD-системи, будемо орієнтуватися на цей зразок, при необхідності обумовлюючи особливості, реалізовані в тих чи інших продуктах.

Практично всі сучасні 3D MCAD складаються з трьох основних модулів:

- редактора геометрії деталей;
- редактора збірок;
- асоціативного генератора креслеників і специфікацій.

На практиці ці модулі доповнюються вбудованими сервісними компонентами: системами експрес-розрахунків, верифікації даних, доступу до бібліотек зовнішніх компонент, майстрами побудови типових і стандартних елементів геометрії, підсистемами реалістичної візуалізації, сполучення з системами документообігу (PDM), обміну даними з іншими системами та ін. Розглянемо основні модулі.

Модулями створення і модифікації деталей сучасних 3D MCAD-систем є гібридні редактори, які забезпечують створення твердотілої геометрії тіла, поверхонь і об'ємних ескізів, побудованих на основі стандартних геометричних ядер. Найбільш часто використовуються ядра Parasolid (NX, SolidEdge, SolidWorks) або ACIS (Inventor, SpaceClaim, KeyCreator). Деякі системи, такі як CATIA і Pro/Engineer, використовують геометричні ядра власної розробки. У свою чергу, редактор деталі, як правило, складається з двох найважливіших компонентів:

- редактора ескізів;
- редактора 3D-геометрії.

Редактор ескізів служить для побудови параметризованих 2D-контурів, які використовуються потім в якості вихідних і допоміжних каркасів. Користувачеві

доступні інструменти побудови ліній, дуг, еліпсів, сплайнів, численні способи встановлення взаємозв'язків між ними і створення сполучень. Як площині побудови ескізів можуть бути використані базові координатні площині, довільні площині, визначені самим користувачем, або плоскі грані вже побудованої раніше геометрії.

Потім по створеному ескізу будується власне об'ємна геометрія – тверде тіло або поверхня, одним з типових способів:

- видавлювання контуру з різними кінцевими умовами, в тому числі на задану довжину або уздовж іншого контуру;
- обертання контуру навколо заданої осі;
- по заданих контурах з використанням декількох твірних.

В якості додаткових, але де-факто обов'язкових, засобів побудови геометрії служать інструменти створення фасок, заокруглень постійного і змінного радіуса, отвори складної форми, сполучення поверхонь, перетворення поверхонь в листове тіло та ін (Рисунок 3.5).

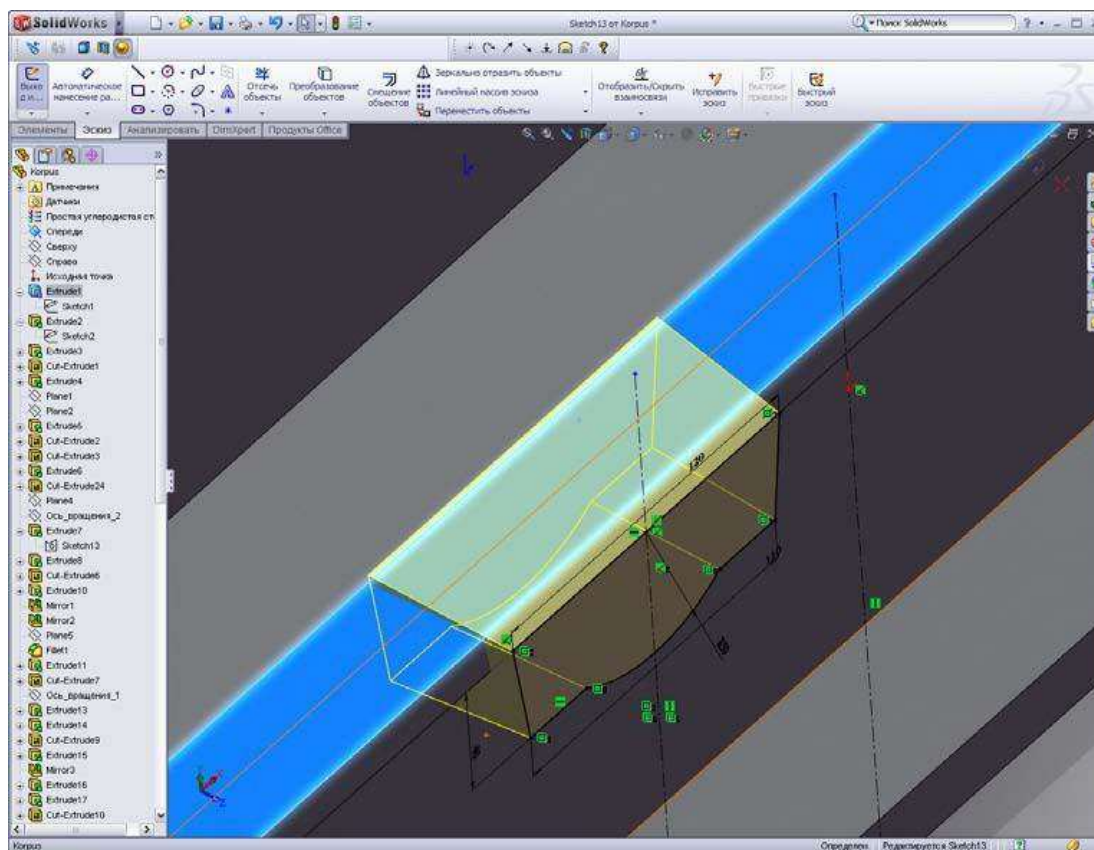


Рисунок 3.5 – Редагування ескізу бобишки на площині стінки деталі корпусу

Для підвищення ефективності і зниження трудомісткості роботи створені також численні майстри створення складних, але часто вживаних елементів геометрії: різьби, зубчасті колеса, гвинтові поверхні, типові профілі та ін.

Послідовність операцій по створенню геометрії, їх контекст і параметри зберігаються в дереві побудов, яке відображається також у вигляді дерева в інтерфейсі. Таким чином, щоб відредагувати будь-який елемент, потрібно вибрати його в дереві побудов, модифікувати, і ці зміни автоматично поширяться вниз по дереву побудов. Це загальноприйнята у всіх сучасних 3D MCAD технологія редагування. Однак в 2007 році компанія Siemens PLM Software в своїх продуктах NX6 і SolidEdge ST на додаток до такого підходу реалізувала так звану синхронну технологію редагування, що дозволяє вносити зміни не тільки від кореня дерева, а й від його кінця, що істотно розширило можливості систем (Рисунок 3.6).

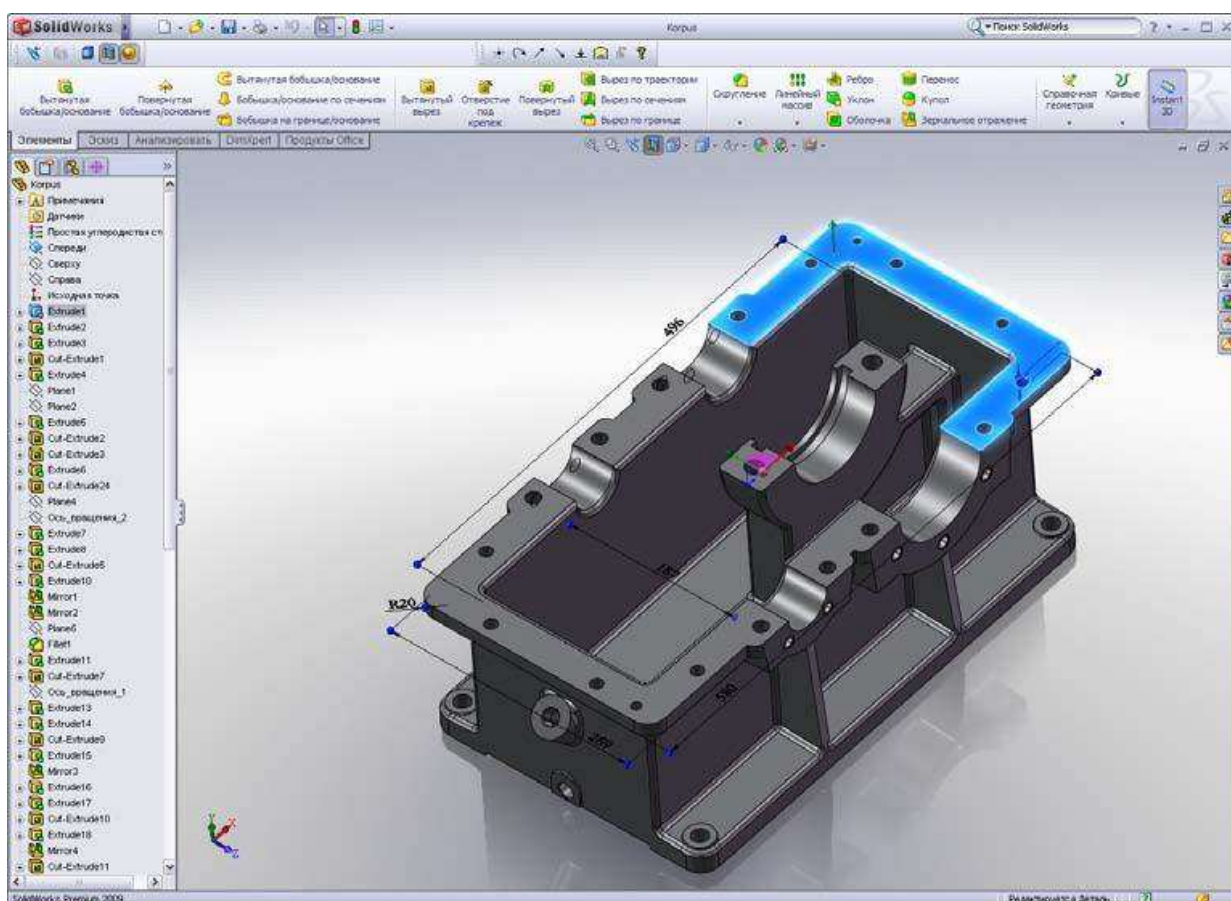


Рисунок 3.6 – Редагування деталі корпусу

Модуль створення деталей забезпечує збереження всієї інформації в єдиному файлі, її експорт в поширені формати обміну даними або імпорт з них заготовок для подальшого опрацювання. Найчастіше імпортована геометрія не містить інформації про дерево побудов, а тільки геометричні дані про грані і ребра, що визначають тіло. Це суттєво ускладнює роботу. Щоб обійти цю проблему, використовуються різні системи розпізнавання сутностей (feature recognition), що дозволяють в автоматичному чи напівавтоматичному режимі визначити тіла витягування, обертання, отвори, заокруглення, фаски та ін.

Потужним засобом моделювання виробів є створення збірок. З точки зору складання, деталі являють собою вже готові конструктивні елементи, для яких необхідно лише задати положення в просторі і додати обмеження рухливості відповідно до виконуваних ними в виробі функцій. Тому складальна модель в поняттях 3D CAD - це файл, який містить декілька окремих моделей деталей, з описом того, як вони розташовані щодо один одного. Для отримання даного файлу в 3D CAD можуть використовуватися два принципово різних методи проєктування.

Проєктування «знизу вгору». Загальний принцип створення складальної моделі за цим методом повністю відповідає реальному виробничому процесу складання. Тобто попередньо потрібно створити моделі деталей (причому моделі можуть створюватися незалежно), а потім об'єднати їх в єдину конструкцію шляхом накладення обмежень на просторове положення об'єктів. Для циліндричних поверхонь можуть бути задані зв'язки концентричності, для площин - їх збіг, паралельність з відстанню між ними, перпендикулярність або кут взаємного розташування.

Проєктування «зверху вниз». З точки зору процесу конструювання, це ідеологічно більш правильний підхід, так як моделі всіх деталей розробляються в контексті однієї збірки, тобто на основі геометричних елементів інших деталей (простіше кажучи, прив'язуються до їх гранях, ребрах або вершин). Відповідно до даного методу спочатку створюється збірка є вихідною інформацією для виконання подальшого деталювання. Працюючи зі складанням в такому стилі, можна в міру

необхідності створювати нові деталі, визначаючи їх розміри і розташування в просторі щодо інших елементів збірки.

В обох випадках накладені зв'язки дозволяють автоматично перебудувувати всю збірку при зміні параметрів будь-якої з деталей, що входять у вузол. Для проектування виробів, одержуваних за допомогою зварювання, система дозволяє виконати об'єднання кількох деталей, що зварюються в одну.

При додаванні деталі або підзбірки в ієрархічному дереві збірки автоматично з'являється об'єкт з ім'ям компонента. Дерево збірки відображається у вікні проектування. Будь-який елемент складання може бути закріпленим або вільним. Закріплені компоненти не переносяться операціями переміщення. Вільний компонент може бути перенесений з урахуванням призначених зв'язків або без їх урахування (Рисунок 3.7).

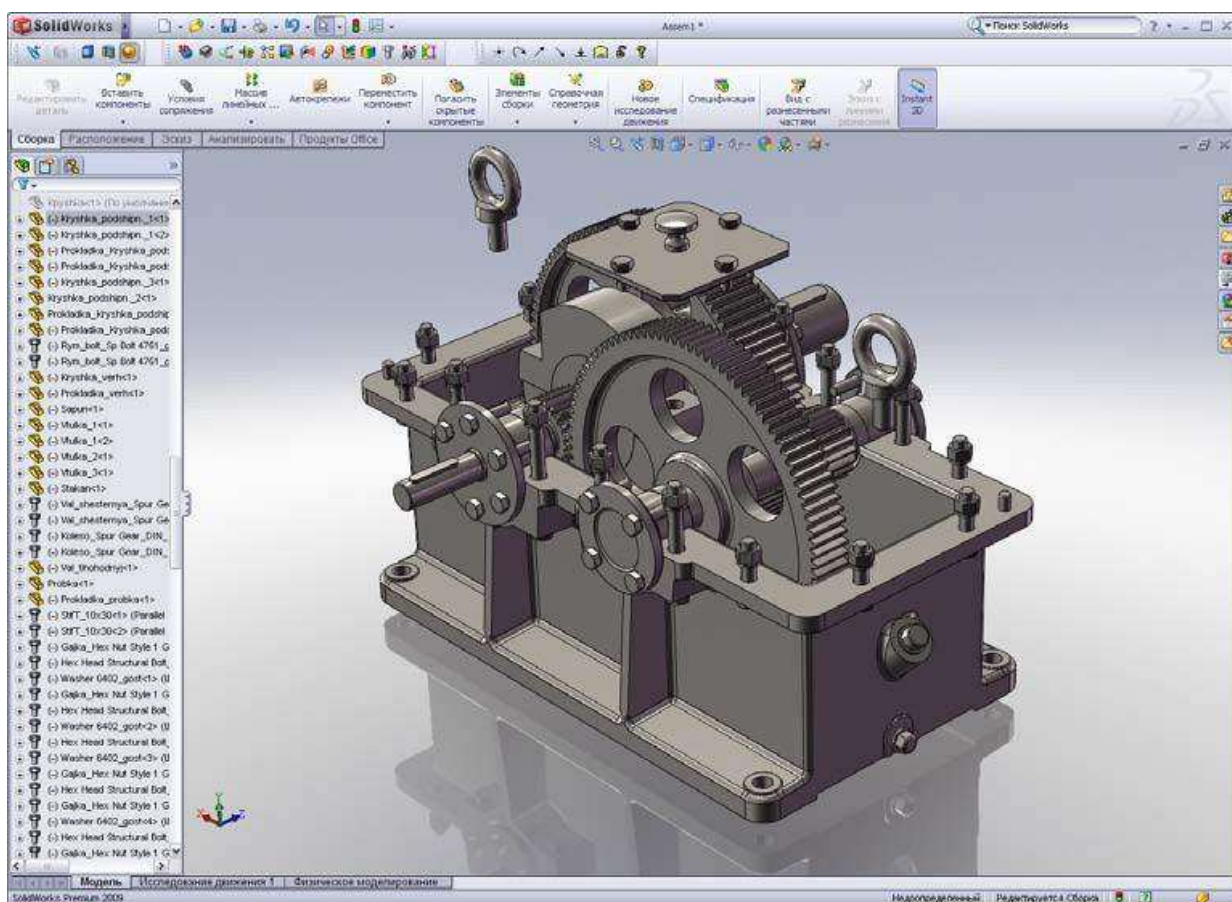


Рисунок 3.7 – Редагування збірки
(верхня кришка редуктора для наочності прихована)

3.5 Генератор креслеників

Який би не був рівень розвитку тривимірного моделювання, конструкторська документація у вигляді креслеників, специфікацій і технічних умов ще довгий час буде залишатися основним документом на виробництві. З цієї причини модулі для її створення присутні в будь-якій CAD-системі. Процес створення 2D-креслень як документальної основи проєкту практично повністю автоматизований. Однак це не означає, що конструктор не в змозі вплинути на кінцевий результат. У більшості 3D CAD-систем передбачено два способи отримання креслень: автоматичне генерування та інтерактивний режим.

У першому випадку всі побудови ведуться на основі твердотілої моделі деталі або збірки, а в другому – використовуються інструменти, аналогічні інструментам для створення ескізів, або традиційні офісні додатки (наприклад, Excel). До інформації, що обробляється, відносяться:

- зображення конструкції (види, розрізи, перерізи);
- розмірна інформація;
- текстова інформація.

Процес отримання всього цього і є повний цикл розробки конструкторської документації.

Якщо кресленик виконується по вже існуючій 3D-моделі, то природно, що отримання будь-якого зображення повністю автоматизовано. Вид – це всього лише проєкційне зображення одного з незліченних просторових положень моделі. Види діляться на наступні групи: основні, додаткові і місцеві. Однак окремі види, як геометричні конструкції, можна створювати декількома способами, тому зазвичай передбачений цілий набір відповідних команд.

Проставляння розмірів є найважливішим кроком у побудові кресленика. Справа в тому, що положення кожного геометричного об'єкта необхідно однозначно задати в просторі. Робити це в абсолютній системі координат для інженера незручно як з точки зору виготовлення, так і з точки зору контролю просторового положення поверхонь, тому використовується відносна система координат (на-

приклад, завдання відстані між двома вершинами). Чисельні значення подібних відстаней і називаються розмірами (Рисунок 3.8).

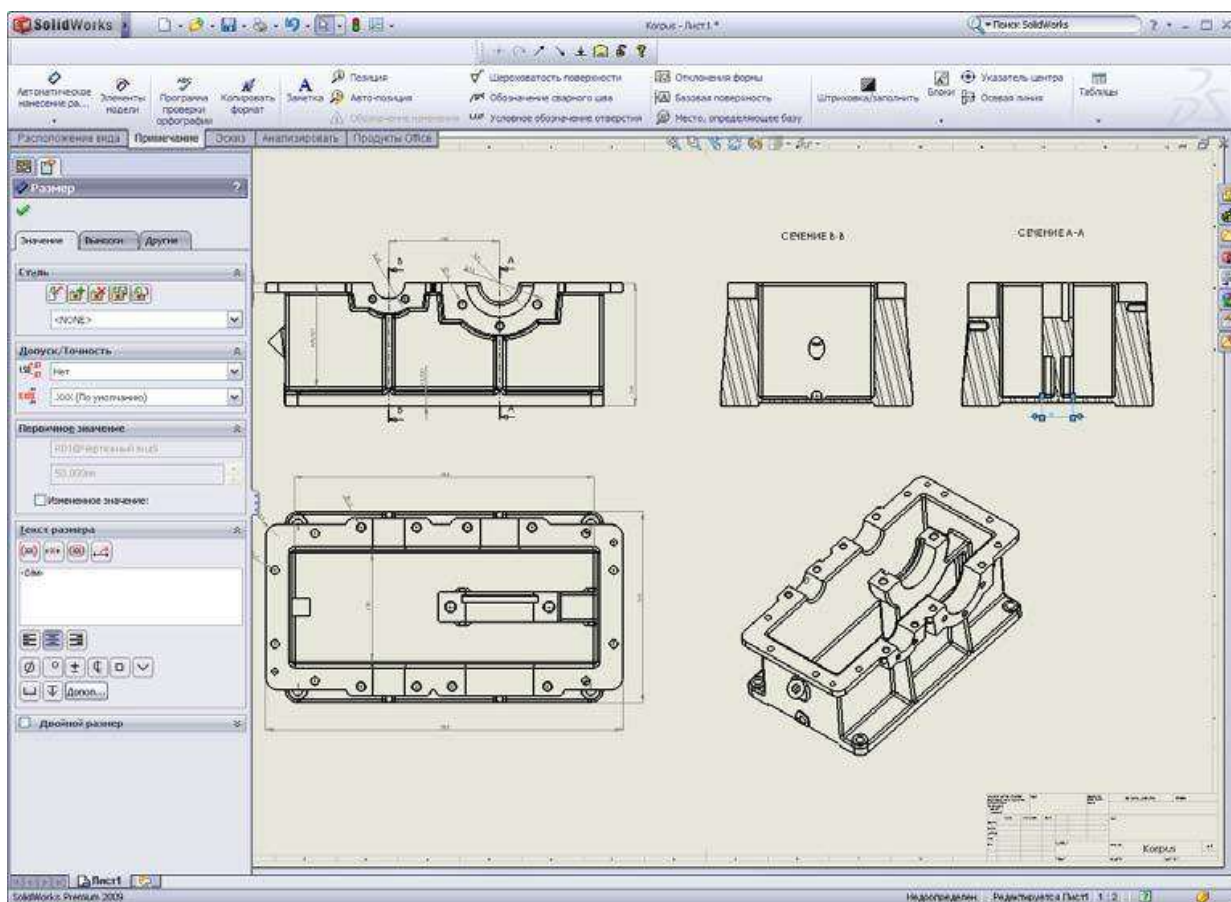


Рисунок 3.8 – Асоціативний кресленик, автоматично створений за 3D-моделі деталі

Оскільки сучасна 3D CAD – це параметрична система, то за кожен розмір відповідає окрема змінна. Саме з цієї причини об'єкти кресленика автоматично збільшуються або зменшуються відповідно до змін, що вносяться в 3D-модель, незалежно від того, яка їх довжина була спочатку зображена на кресленіку. У системах з двобічною асоціативністю можливий і зворотний режим – зміни на кресленіку спричиняють за собою модифікацію відповідних елементів 3D-моделі.

Можна також створити кресленик використовуючи і тільки двовірні геометричні фігури, без посилання на існуючі моделі або збірки. Побудовані геометричні фігури можуть управлятися взаємозв'язками (паралельність, дотичність та ін.), а також параметричними розмірами. Інструменти і взаємозв'язки ескізу працюють

в документі кресленника таким же чином, як і в документі деталі або збірки. Єдиною відмінністю є те, що замість побудови на поверхнях або гранях моделі побудова здійснюється безпосередньо на аркуші кресленника або в активному вигляді.

3.6 Системи промислового дизайну

Деяко осібно від класичних MCAD-систем стоять рішення для опрацювання зовнішнього вигляду майбутніх виробів. Їх застосування найбільш характерно для галузей, які виробляють промислову продукцію для кінцевого споживача: автомобілебудування, виробництва побутової техніки та електроніки, упаковки та ін. Дизайн будь-якого виробу - це результат спільної роботи дизайнерів, конструкторів, маркетологів. І чим оригінальніше та індивідуальніше буде цей дизайн, тим більш привабливим виявиться даний продукт серед інших рівних. Найчастіше підприємства конкурують при рівній ціні і однаково високій функціональності продукції, тому дизайн виробу стає єдиною різницею, яка вплине на споживача.

Для систем автоматизованого дизайну, на відміну від промислових MCAD-систем, характерні велика гнучкість у створенні довільних форм, можливості поєднання векторної, растрової та об'ємної графіки, потужні засоби реалістичної візуалізації.

Як правило, 3D-пакели для промислового дизайну будуються на архітектурі, що не спирається на історію побудови і технологічні обмеження. На будь-якій стадії проєктування існує можливість підбору потрібної форми шляхом видозміни наявної. Для того щоб дослідити варіанти 3D-форм, використовують динамічне моделювання. У той же час, на відміну від просто художнього опрацювання, в завдання промислового дизайну входить і точне опрацювання геометрії. На етапі остаточного формування елементів виробу дуже важлива можливість точного моделювання поверхонь. Маючи перед собою таку модель, керівники проєктного відділу та відділу маркетингу можуть прийняти рішення про затвердження виробу і його передачу у виробництво.

На підставі даних про поверхні виробу підбираються інструменти для їх виготовлення на верстатах. В автомобільній промисловості виконується додаткова перевірка, чи відповідають зовнішні поверхні вимогам стандартів для так званих поверхонь класу А, для яких безперервність поверхонь, що сполучаються по загальній дотичній і мають рівну кривину в зоні сполучення - обов'язкові умови для того, щоб виріб був технологічним у виготовленні.

Питання для самоконтролю

1. Які переваги дає використання електронних креслеників перед паперовою технологією?
2. Який механізм використовується в 2D CAD-системах для управління видимістю груп образотворчих елементів?
3. Для чого використовуються механізми блоків і зовнішніх посилань на креслениках?
4. У чому полягають обмеження використання 2D-систем і креслярської документації?
5. Які додаткові можливості дає 3D-проектування в порівнянні з 2D-кресленням?
6. Назвіть основні інструментальні компоненти сучасної 3D MCAD-системи.
7. Який метод проектування реалізується при побудові деталей в контексті збірки?
8. У чому вигоди використання асоціативного побудови креслеників по 3D-моделі?
9. Опишіть способи проектування збірок, назвіть їх переваги та недоліки.
10. Які особливості характерні для систем промислового дизайну?

ТЕМА 4

СПЕЦІАЛІЗОВАНІ САД-СИСТЕМИ. ВИДИ САЕ СИСТЕМ

Зміст теми:

- 4.1 АЕС САД – архітектурно-будівельні САПР
- 4.2 EDA-проектування електронних пристроїв
- 4.3 Геоінформаційні системи
- 4.4 Характеристика САЕ-систем
- 4.5 Метод кінцевих елементів
- 4.6 Моделювання кінематики
- 4.7 Аерогідродинамічні розрахунки
- 4.8 Електростатика та електродинаміка

4.1 АЕС САД – архітектурно-будівельні САПР

По мірі розвитку САПР і адаптації їх до завдань конкретних галузей почали з'являтися спочатку набори додаткових спеціалізованих модулів до універсальних систем, потім і повністю спеціалізовані САПР, орієнтовані на ефективне виконання проектних робіт в специфічних областях застосування. Згодом, крім традиційної MCAD, сформувалися цілі самостійні підгалузі САПР, такі як:

- архітектурно-будівельна (АЕС, Architecture Engineering and Construction);
- електронна (EDA, Electronic Design Automation);
- геоінформаційна (GIS, GeoInformatic Systems) та ін.

Загалом асортимент спеціалізованих систем великий, розглянемо найбільш показові приклади (Рисунок 4.1).

Історія архітектурно-будівельних додатків починається зі створення бібліотек будівельних елементів і спеціалізованих команд в двовимірних креслярських редакторах, в першу чергу AutoCAD. Їх використання знижувало трудомісткість виконання проектних і робочих креслеників будівель, мостів та інших споруд. Так

як в архітектурному проєктуванні особливе значення має візуальне уявлення майбутніх споруд, поряд з креслярськими редакторами широко використовувалися і використовуються тривимірні дизайнерські пакети, такі як 3D Max, Lightwave, SoftImage та ін. Візуалізація забезпечує самоконтроль з боку архітектора і значно більш просте сприйняття проєкту замовником.



Рисунок 4.1 – 2D-кресленик проєкту фасаду будівлі

Однак такий симбіоз недостатньо ефективний, так як практично відсутня асоціативний автоматичний зв'язок між проєктною документацією і віртуальним макетом будівлі для візуалізації. Кожна зміна, що вноситься в кресленик або в макет, вимагає його ручного відтворення в паралельній системі. Крім зайвої трудомісткості, такий підхід загрожує помилками, розбіжністю візуальних і проєктних даних.

Тому на рубежі 80-90-х років ХХ століття з'явилася концепція віртуальної будівлі, яка набирає все більшої популярності. Найбільш типовими зразками продуктів, що реалізують цю концепцію, можна назвати пакет ArchiCAD компанії

Graphisoft, сімейство програм Revit компанії Autodesk, комплекс All Plan компанії Nemetchek.

Концепція віртуальної будівлі (virtual building) дозволяє управляти інформацією про весь життєвий цикл будівлі. На відміну від простої тривимірної моделі, віртуальна будівля містить комплексну інформацію - це тривимірна цифрова база даних, яка відстежує всі елементи, що складають проєкт: площі і об'єми, опис кімнат, ціну матеріалів і готових елементів і виробів: вікон, дверей, комунікацій та ін.

Концепція віртуальної будівлі передбачає новий підхід до проєктування: архітектор займається безпосередньо дизайном проєкту, а САПР автоматично формує документацію. У той час, коли проєктувальник «зводить» стіни, розміщує перекриття, вбудовує вікна і двері, споруджує дах, програма створює єдину базу даних тривимірної моделі будівлі (Рисунок 4.2).

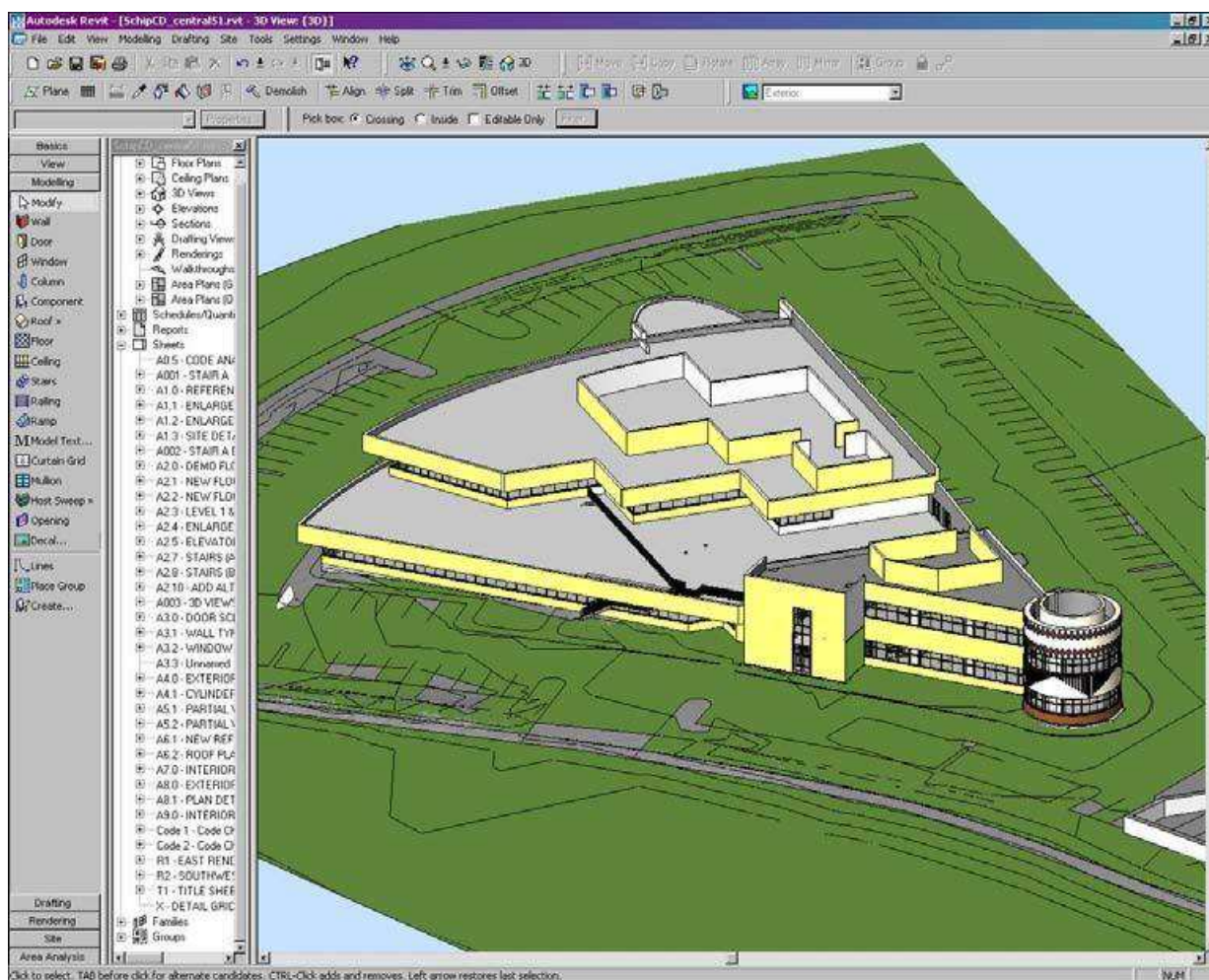


Рисунок 4.2 – Комплексний тривимірний проєкт будівлі

Зміни, що вносяться до проекту, відображаються у всій звітній документації: в планах поверхів, розрізах, фасадах, кошторисних завданнях, 3D-моделі і фотозображеннях. Інтелектуальні об'єкти (двері, вікна, колони, перекриття та ін.) постійно взаємодіють з іншими елементами конструкції будівлі або споруди: вікно вбудовується в стіну, перекриття спирається на колону, під скат даху споруджується несуча конструкція та ін. У подальшому з бази може бути залучена вся необхідна інформація (Рисунок 4.3).

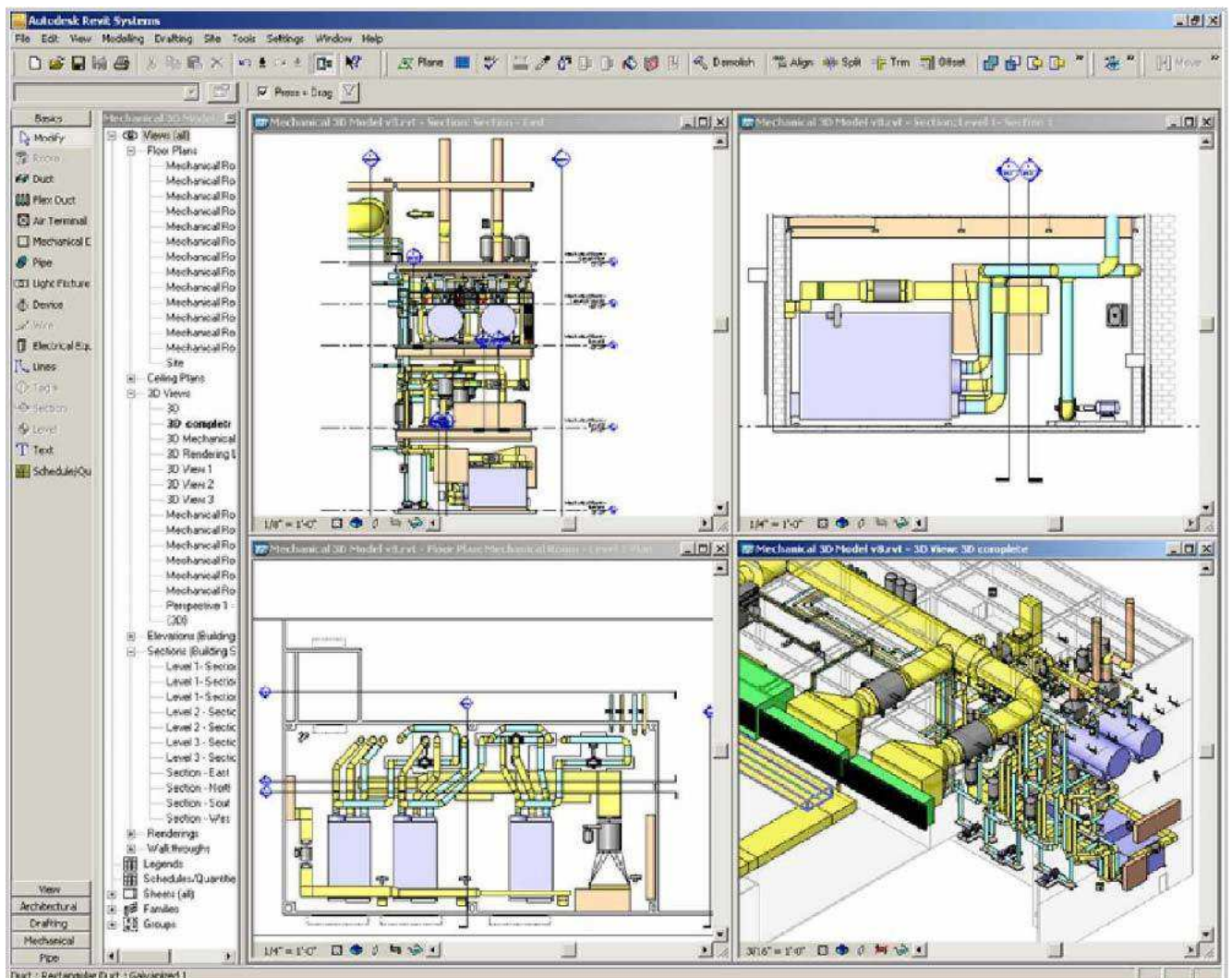


Рисунок 4.3 – Цифрова модель інженерних комунікацій будівлі

В результаті віртуальна будівля стає єдиним і універсальним інструментом організації колективної роботи всіх учасників створення і реалізації проекту. Головний архітектор отримує інформацію про поточний стан проекту в незалежно-

му електронному форматі (цю інформацію він гарантовано зможе переглянути), відображає зміни, які необхідно внести в проєкт, і передає їх співробітникам для подальшої роботи.

Кошторисники отримують із загальної проєктної бази різні специфікації, відомості, кошторисні завдання, а конструктори - тривимірну модель і параметри несучих конструкцій для розрахунків на міцність; інженери - постійно оновлювані актуальні кресленики поверхових планів, вузлів і фрагментів будівлі в заданому масштабі. Для будівельників можна пропрацювати графіки робіт, а в подальшому передавати на площадку кресленик і відеоролики, що відображають різні етапи будівництва або демонтажу будівлі (Рисунок 4.4).

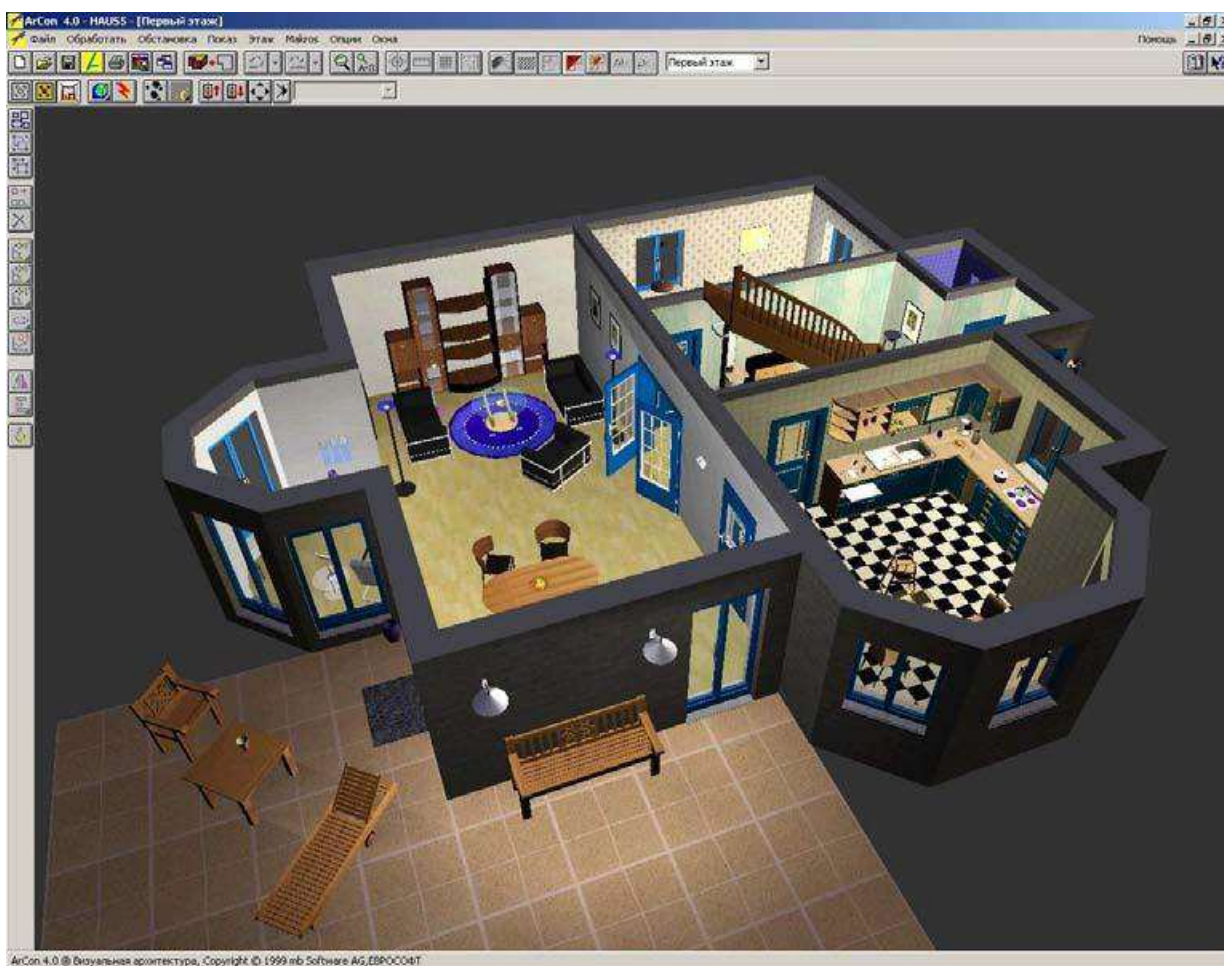


Рисунок 4.4 – Візуалізація інтер'єру житлового будинку
(другий поверх умовно прихований)

Працюючи з тією же віртуальною будівлею, що і архітектор, агент з нерухомості має можливість легко отримати точні параметри приміщень та оцінити їх площу, показати клієнтам вигляд з будь-якої точки і навіть запросити їх здійснити віртуальну подорож по будівлі. Дизайнери інтер'єрів можуть починати працювати на етапі концептуальної моделі, використовуючи той же проєкт, що і архітектор. Після завершення етапу проєктування будівельникам видаються специфікації, відомості, звіти, графіки будівництва, робочі плани та інша інформація.

Так як вся інформація виходить з одного джерела – віртуальної будівлі, вона завжди актуальна і відповідає поточному стану проєкту. Інформація про зміни, що вносяться будь-яким з учасників проєкту, стає доступною його колегам.

4.2 EDA-проєктування електронних пристроїв

EDA (Electronic Design Automation - Автоматизація проєктування електроніки) - комплекс програмних засобів і бібліотек стандартних елементів, що забезпечує автоматизацію розробки електронних пристроїв, в першу чергу створення мікросхем і друкованих плат. Найбільш поширеними є пакети Pcad і Orcad.

EDA-системи дозволяють почати розробку зі створення безпосередньо принципової електричної схеми проєктованого пристрою з використанням бази радіоелектронних компонентів, змодельовати її роботу в різних режимах. Потім ця схема перетворюється в заготовку проєктованої друкованої плати з різним ступенем автоматизації. Сучасні програмні пакети дозволяють виконати автоматичну розстановку елементів і автоматично розвести доріжки на кресленику багатошарової друкованої плати, поєднуючи тим самим виводи радіоелектронних компонентів відповідно до принципової схеми.

Типовий склад EDA-комплексу:

- редактор принципів електричних схем;
- бібліотека стандартних електронних компонент;
- редактор друкованих плат;
- вбудовані модулі симуляції принципів схем і друкованих плат;

- транслятори даних;
- допоміжні утиліти.

Модуль створення принципових схем є спеціалізованим графічним редактором, що забезпечує вибір електронних компонент з бібліотеки, розміщення їх на схемі і з'єднання лініями-провідниками. Електричні схеми виконуються без дотримання масштабу. Реальне розташування компонентів на монтажно-комутаційному полі не враховується при побудові електричних схем. В першу чергу рисунок схеми повинен забезпечити компактність і ясність при читанні її деталей. На електричній схемі зображуються символи компонентів, електричні зв'язки між ними, текстова інформація, таблиці, буквено-цифрові позначення і основні написи на схемі. Поставляються разом з системою бібліотеки електронних компонент, які забезпечують як їх графічне зображення на схемі, так і моделювання логіки і електронних параметрів (Рисунок 4.5).

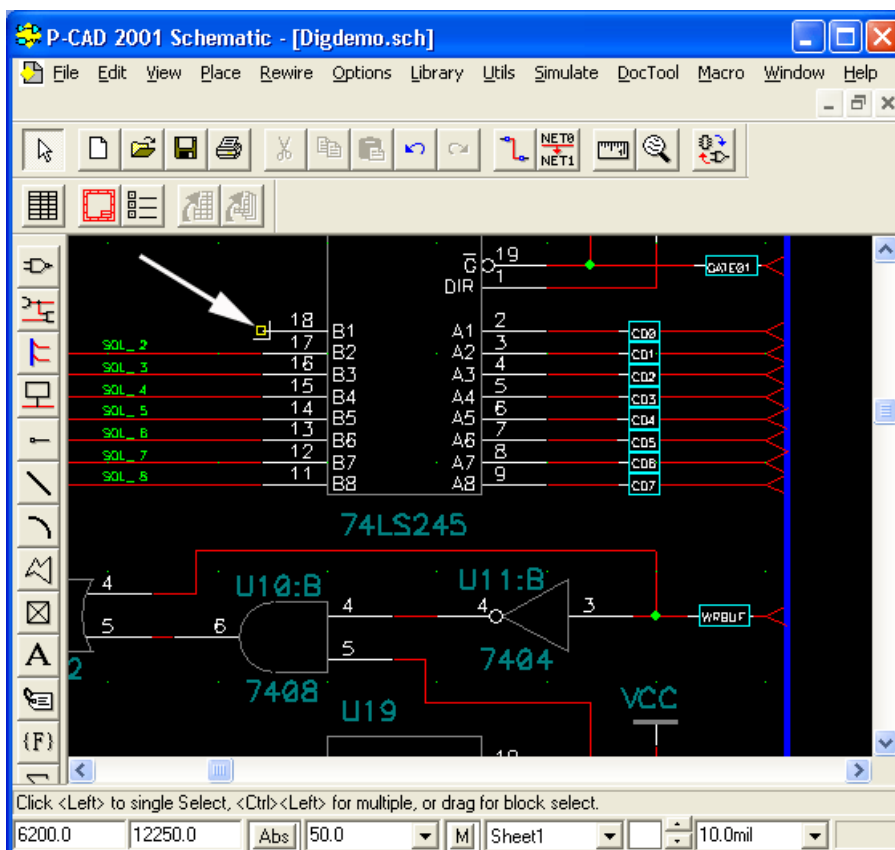


Рисунок 4.5 – Редактор принципових електричних схем

Редактор друкованих плат використовується для розміщення компонентів безпосередньо на монтажно-комутаційному полі, а також і для ручної, інтерактивного або автоматичного трасування провідників. В інтерактивному режимі курсором відзначаються початок і кінець сегмента провідника, який відразу ж трасується з урахуванням перешкод. При цьому дотримуються всі обмеження на проведення траси, встановлені користувачем.

Завдяки асоціативному сполученню з модулем створення принципів схем редактор друкованих плат може автоматично скласти список з'єднань схеми і перенести на поле друкованої плати зображення корпусів компонентів із зазначенням ліній електричних з'єднань між їхніми виводами. Потім викреслюється контур плати, на ньому розміщуються компоненти і, нарешті, проводиться трасування провідників (Рисунок 4.6).

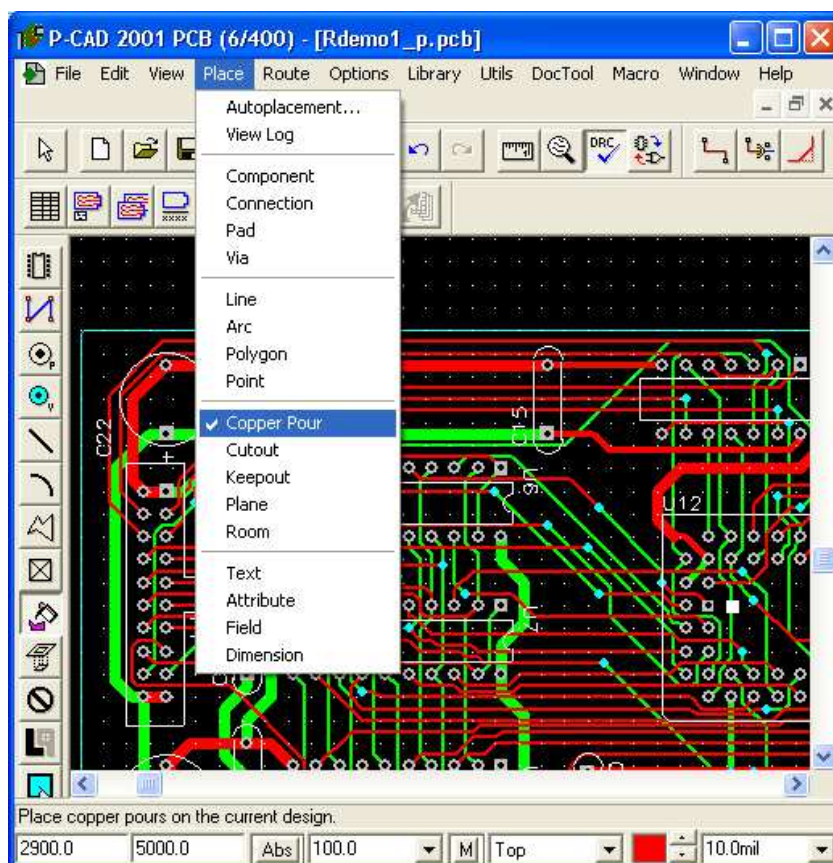


Рисунок 4.6 – Редактор друкованих плат

Важливою компонентою сучасних редакторів друкованих плат є модулі автоматичного трасування провідників. Автотрасувальник викликається з керуючої

оболонки редактора друкованих плат, в якому проводиться налаштування стратегії трасування. Інформацію про особливості трасування окремих ланцюгів можна отримати за допомогою стандартних атрибутів ввести на етапах створення принципової схеми або друкарської плати.

Допоміжні утиліти використовуються для перенумерації компонентів, створення звітів в необхідному форматі, автоматичного створення компонент, розрахунку параметрів друкованих плат, оформлення конструкторської документації, розміщення на креслениках схем або друкованих плат, різних діаграм і таблиць, складання різних списків і звітів, які динамічно оновлюються, даних про структуру плати, технологічної та облікової інформації, розміщення на креслениках схем списків з'єднань, висновків підключення живлення іншої текстової інформації.

Найважливішим елементом EDA-системи є транслятори даних, що забезпечують обмін проєктною інформацією з іншими електронними САПР або з MCAD-системами для остаточного конструктивного компонування електронних блоків у складі машинобудівних конструкцій. В останньому випадку транслятор створює тривимірну збірку в форматі MCAD, що складається з друкованої плати і елементів.

Можливо і розв'язання оберненої задачі – збереження моделі MCAD в форматі EDA CAD. Цю можливість зручно використовувати в тих випадках, коли габарити друкованої плати залежать від форми і розміру корпусу приладу або відсіку обладнання, в якому ця друкована плата буде експлуатуватися.

Розвитком технології трансляторів між EDA- і MCAD-системами є мехатроніка – система засобів спільного проєктування і моделювання вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними і комп'ютерними компонентами, що забезпечують проєктування і виробництво якісно нових модулів, машин і систем з інтелектуальним керуванням їх функціональними рухами.

4.3 Геоінформаційні системи

Геоінформаційні системи (ГІС) призначені для збору, зберігання, аналізу та графічної візуалізації просторових географічних даних і пов'язаної з ними інформації. Інструменти ГІС забезпечують систематизоване зберігання, пошук, аналіз і редагування цифрових карт, а також додаткову інформацію про об'єкти, наприклад, висоту будівлі, адреси, кількість мешканців, розташування транспортних комунікацій та ін. (Рисунок 4.7).

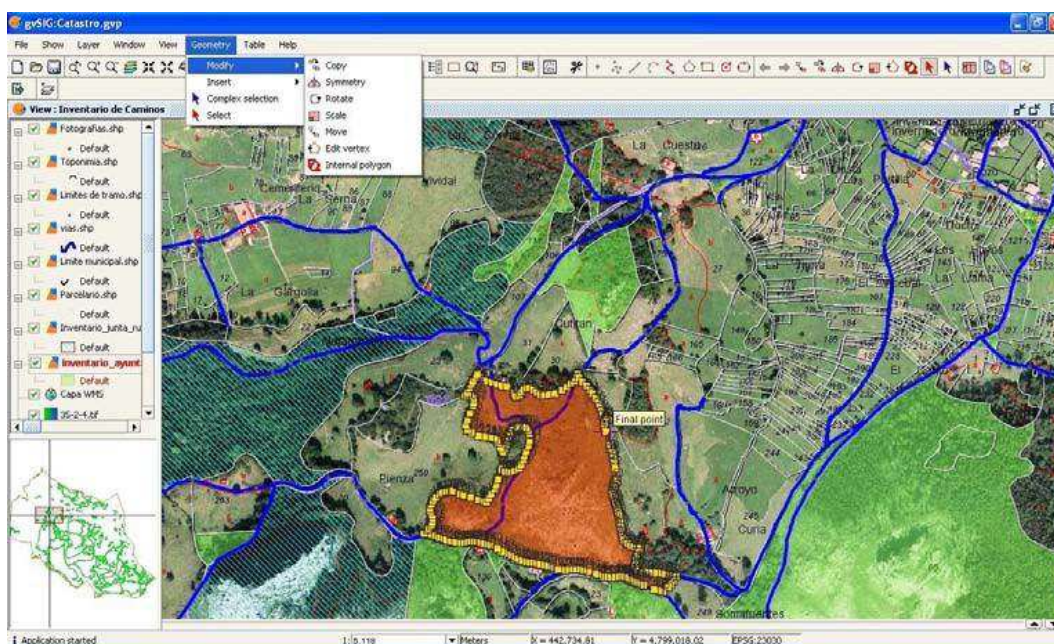


Рисунок 4.7 – Поєднана векторна карта дорожніх комунікацій і даних аерофотознімання

ГІС включають в себе системи управління базами даних, пов'язані з редакторами растрової (наприклад, аерофотознімків) і векторної (карти висот, комунікацій, планів населених пунктів) графіки і аналітичних засобів. ГІС широко застосовуються в різних галузях, в тому числі безпосередньо не пов'язаних з проектуванням: картографії, геології, метеорології, землеустрій, будівництві, управлінні транспортом та ін.

Галузева орієнтація ГІС – інвентаризація ресурсів (в тому числі кадастр), аналіз, оцінка, моніторинг, управління і планування, підтримка прийняття рішень.

Інтегровані ГІС поєднують функціональні можливості ГІС і систем цифрової обробки зображень (даних дистанційного зондування) в єдиному інтегрованому середовищі.

Найбільшого поширення набули так звані масштабно-незалежні ГІС, засновані на множинних уявленнях просторових об'єктів, і забезпечуючі графічне або картографічне відтворення даних в будь-якому з обраних масштабів на основі єдиного набору даних з найбільшим просторовим дозволом.

На практиці ГІС набули широкого поширення в будівництві, проектуванні дорожніх мереж, магістральних трубопроводів та ліній електропередач.

4.4 Характеристика САЕ-систем

САЕ (Computer-Aided Engineering) - це різноманітні програмні продукти, які забезпечують виконання інженерних розрахунків і фізично подібної симуляції функціонування проєктованих виробів, перевірки їх працездатності, прогнозування тривалості життєвого циклу, визначення робочих характеристик на етапі проєктування до виготовлення дослідних зразків і їх випробувань, оптимізації цих характеристик.

Розрахункова частина пакетів найчастіше заснована на чисельних методах вирішення диференціальних рівнянь: метод кінцевих елементів, кінцевих об'ємів, кінцевих різниць та ін. Це обумовлено тим, що розрахункові системи, побудовані на основі чисельних методів, на відміну від аналітичних, практично не залежать від геометричної конфігурації аналізованого виробу.

Окремо варто виділити системи симуляції і моделювання складних технологічних процесів, таких як лиття металів і пластмас, штампування, хімічне фрезерування та ін. Особливістю подібних розрахунків є спільне розв'язання задач, що описують різні фізичні процеси – гідродинамічні течії, затвердіння, тепловий обмін, хімічні реакції полімеризації та інше.

Поряд з розрахунком конструкцій комп'ютерне моделювання та симуляція можуть використовуватися і для оптимізації проєктів. Оптимізацію можна прово-

дити для задач статичності, стійкості, сталих і несталих динамічних перехідних процесів, власних частот і форм коливань, акустики і аеропружності. Все це робиться одночасно, шляхом варіації параметрів форми, розмірів та інших властивостей виробу. Ефективні алгоритми оптимізації обробляють будь-яку кількість проєктних параметрів і обмежень. Вага, напруги, переміщення, власні частоти і багато інших характеристик можуть розглядатися або як цільові функції проєкту (в цьому випадку їх можна мінімізувати або максимізувати), або в якості обмежень. Алгоритми аналізу чутливості дозволяють досліджувати вплив різних параметрів на поведінку цільової функції і управляти процесом пошуку оптимального рішення. Крім того, комп'ютерне моделювання застосовується для планування експериментів (визначення місць розташування датчиків) та оцінки повноти отриманих експериментальних даних.

Таким чином, чисельне моделювання задач міцності істотно заощаджує час, ресурси, дозволяє скоротити обсяги реальних випробувань, а також більш ретельно оптимізувати конструкції.

4.5 Метод кінцевих елементів

Метод скінченних елементів (МСЕ, Finite Elements Method, FEM) – найбільш поширений чисельний метод розв'язання задач прикладної механіки, в першу чергу на міцність, механіку деформованого твердого тіла, теплообмін.

Суть методу полягає в тому, що розрахункова область розбивається на плоскі або об'ємні, в залежності від розв'язуваної задачі, підобласті з елементарною геометрією (найчастіше методом тріангуляції), для яких записані найпростіші системи диференціальних рівнянь. Кожна така підобласть є кінцевим елементом, що має свій порядковий номер. Загальні вершини кінцевих елементів називаються вузлами, які також нумеруються.

Кінематичні граничні умови задаються у вузлах на границях. Навантаження на границях замінюються зосередженими силами у вузлах, зв'язок кінцевих елементів між собою здійснюється також у вузлах (Рисунок 4.8).

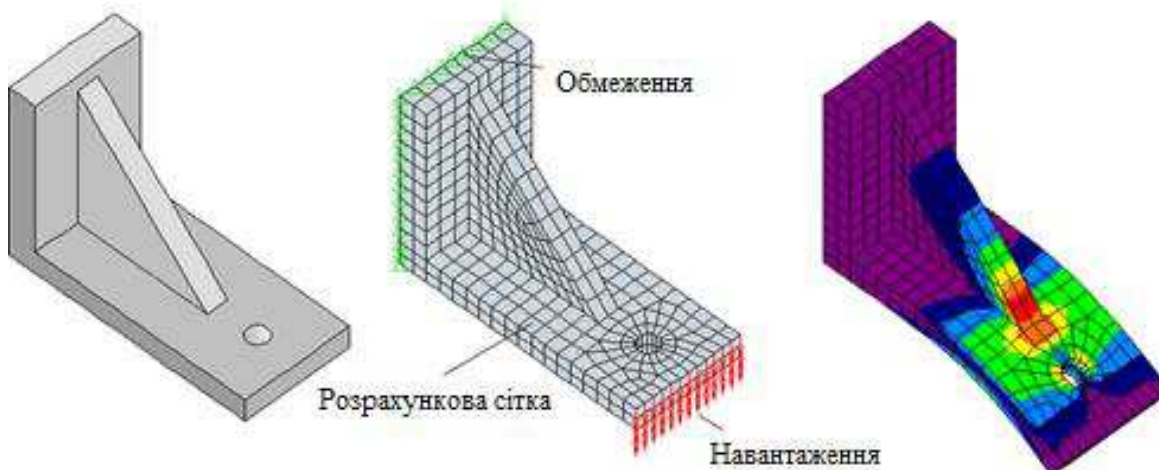


Рисунок 4.8 – Схема переходу від твердотілої моделі до розрахункової сітки

Сучасні системи автоматизації інженерних розрахунків, як правило, застосовуються спільно з CAD-системами, часто просто інтегровані в них. Таким чином, інженер може оперативно провести перевірочні розрахунки безпосередньо в процесі створення конструкції і при необхідності змінити її так, щоб задовольнити вимогам працездатності (Рисунок 4.9).

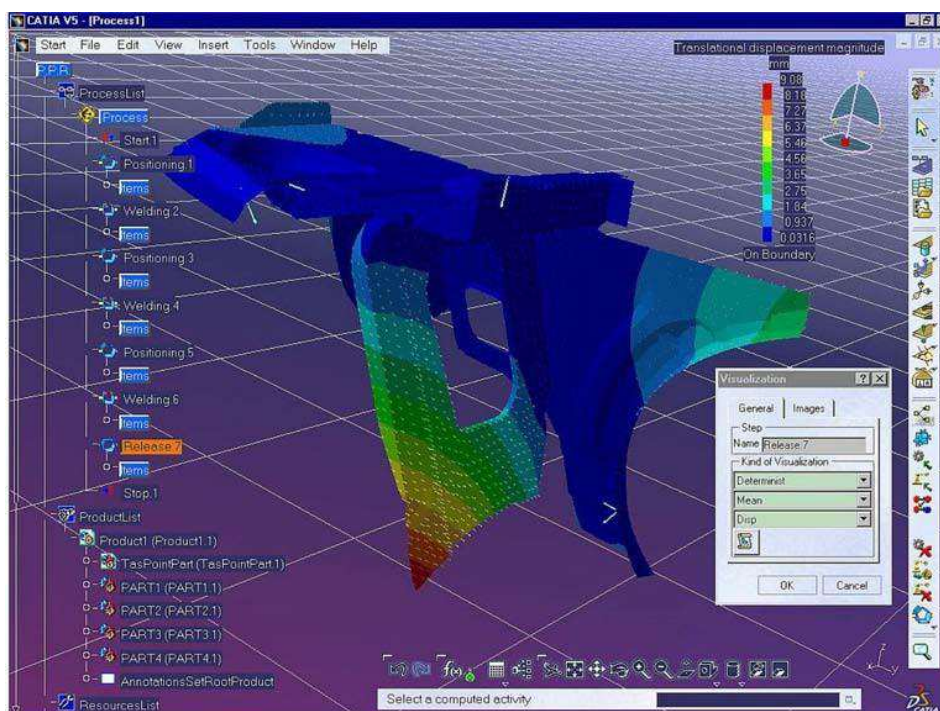


Рисунок 4.9 – Аналіз напружено-деформованого стану деталі

Істотною перевагою розрахункових систем перед перевірочними випробуваннями є можливість визначення елементів не тільки з недостатньою міцністю, але і з надлишковою. Це дозволяє оптимізувати геометрію деталей з метою зниження їх маси, що особливо критично, наприклад, в авіакосмічній галузі, двигунобудуванні.

Розрахункові системи дозволяють «заглянути» всередину деталі, що практично неможливо при натурних випробуваннях, отримати вичерпну картину розподілу будь-яких параметрів: деформацій, напружень, температурних полів та ін. Важливо те, що розрахунок може бути проведений не тільки для статичного навантаження, а і в динаміці, в сполученні з кінематичним розрахунком. Сучасні розрахункові системи забезпечують комплексний аналіз характеристик конструкцій, включаючи розрахунок напружено-деформованого стану, власних частот і форм коливань, аналіз стійкості, розв'язання задач теплопередачі, дослідження сталих і несталих процесів, акустичних явищ, нелінійних статичних процесів, нелінійних динамічних перехідних процесів, розрахунок критичних частот і вібрацій роторних машин, аналіз частотних характеристик при впливі випадкових навантажень. Передбачена можливість моделювання практично всіх типів матеріалів, включаючи композитні та еластичні (Рисунок 4.10).

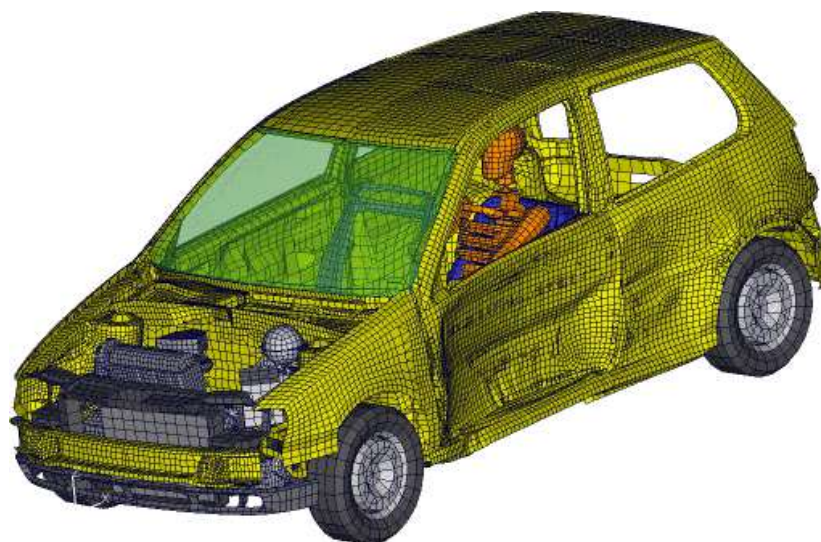


Рисунок 4.10 – Моделювання аварійного удару автомобіля

4.6 Моделювання кінематики

Просторові механізми є важливою складовою сучасної техніки і виробничих технологій, наприклад, шасі літаків та автомобілів, механізація крила і механізми управління літаків, промислові роботи – маніпулятори послідовної і паралельної структури, стрілецька зброя, побутова техніка та ін. Так як конструювання складних механізмів здійснюється з використанням MCAD-систем, то логічним стало використання отриманих геометричних моделей для моделювання та аналізу їх руху. Проєктування кінематики відрізняється високою геометричною складністю і визначає якість кінцевого продукту, вартість його виготовлення і експлуатації (Рисунок 4.11).

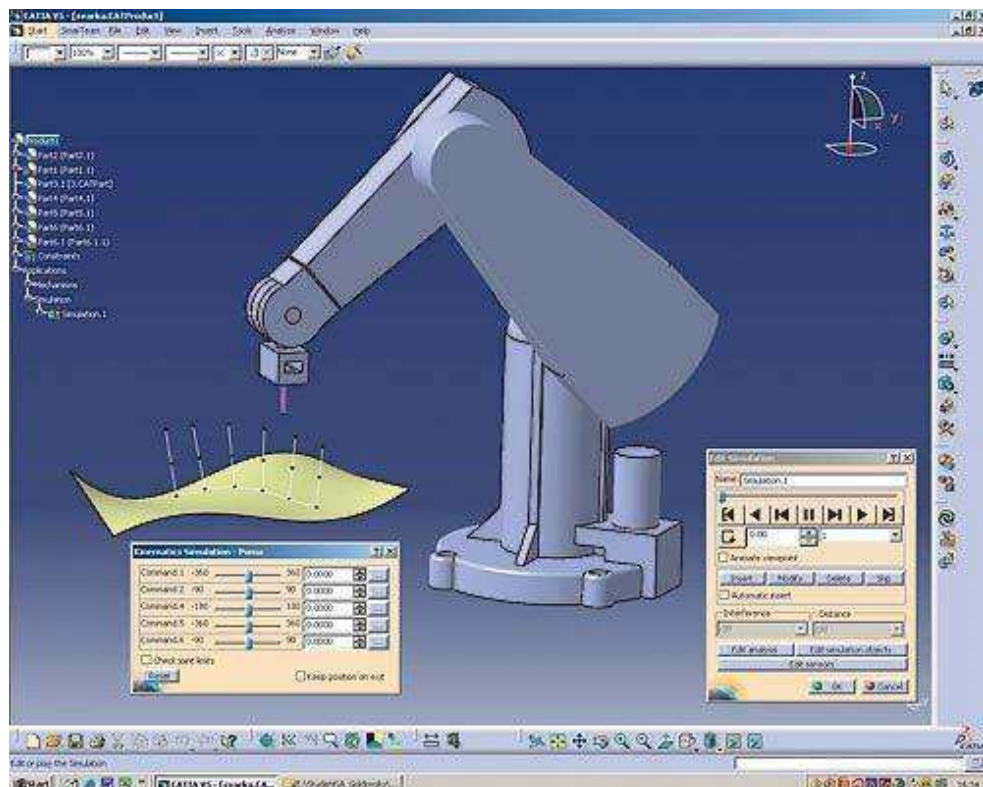


Рисунок 4.11 – Моделювання прямої задачі кінематики в САТІА

У 70-80-ті роки, в період активного розвитку робочих станцій і їх застосування для проєктування виробів машинобудування, з'явилися перші системи для динамічного і кінематичного аналізу просторових механізмів, такі як ADAMS, ANSYS Mechanical, COSMOS Motion і ін. До теперішнього часу ці системи отри-

мали визнання фахівців і увійшли в повсякденну практику роботи сотень тисяч інженерів. Інженерні системи моделювання кінематики забезпечують можливість розв'язання як прямих, так і зворотних задач. Пряма задача полягає в тому, щоб за відомими зусиллями і іншими характеристикам приводів (наприклад, пневмо- і гідроциліндрів, електродвигунів) визначити швидкості і траєкторії руху всіх елементів, які складають механізм. При розв'язанні зворотної (часто вживається термін інверсна) задачі – навпаки.

Моделювання кінематики забезпечує розв'язання задач завдань не тільки аналізу механізмів, а й їх синтезу. По заданій траєкторії і циклограмі роботи механізму можна розрахувати форму кулачків, необхідні розміри ланок важільних механізмів, параметри зубчастих коліс та ін (Рисунок 4.12)

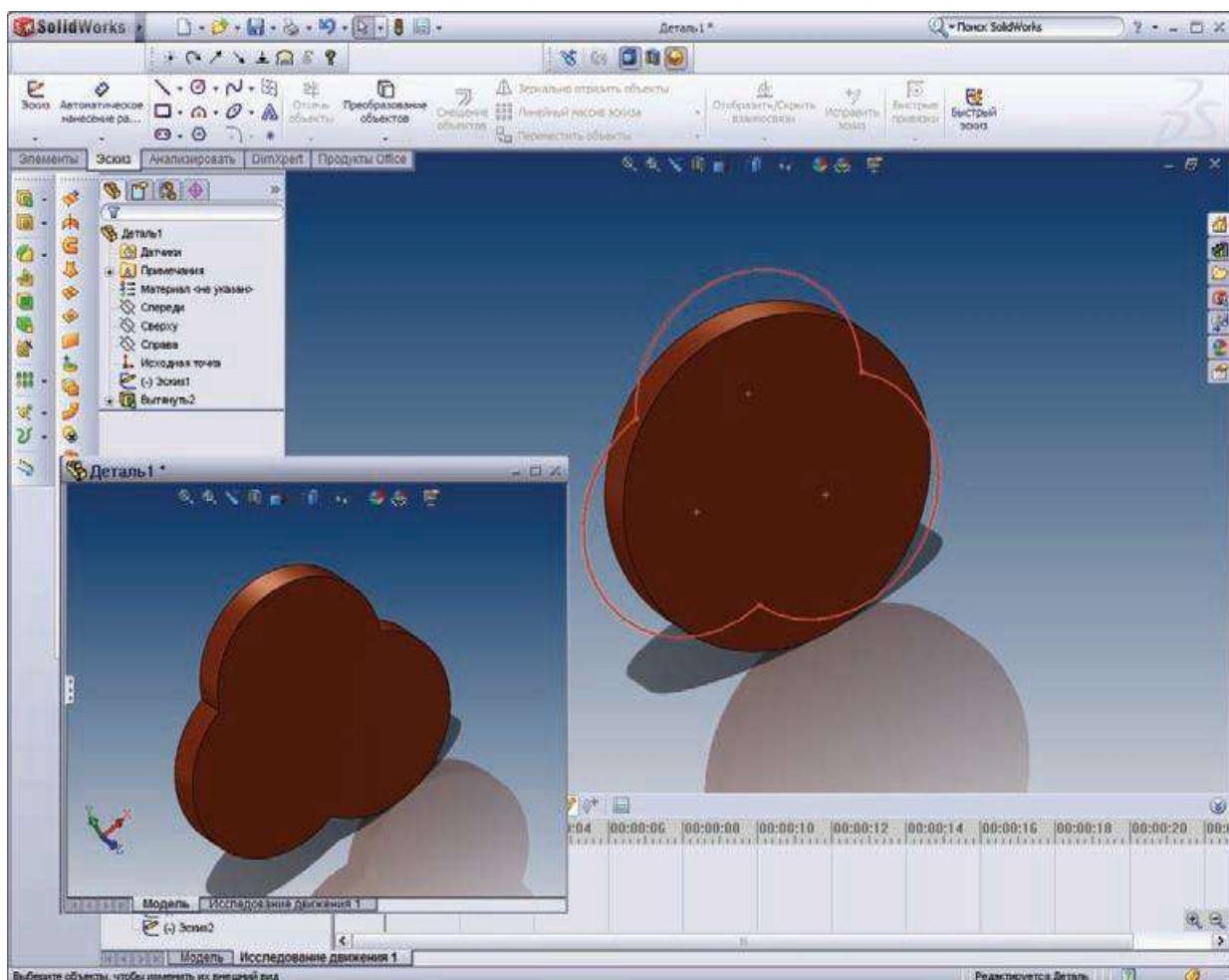


Рисунок 4.12 – Побудова геометрії кулачка за заданою траєкторією

Результати таких обчислень можуть бути використані як ескізи для побудови твердотілих моделей деталей з наперед заданою точністю.

4.7 Аерогідродинамічні розрахунки

Обчислювальна гідро-газодинаміка (CFD, Computational Fluid Dynamics) широко застосовується як в традиційних для неї галузях: авіації, суднобудуванні, проектуванні автомобілів, – так і при створенні побутової техніки, поліграфічного і медичного обладнання та ін. Розрахунки, які здійснюються з використанням чисельних методів і алгоритмів для вирішення і аналізу завдань течій рідин і газів, як правило, полягають в рішенні рівнянь Нав'є-Стокса методами скінченних об'ємів, кінцевих елементів, кінцевих різниць та ін. Сучасні програмні комплекси для моделювання течій в рідині і газах дозволяють розраховувати широкий діапазон течій за кількістю Маха, багатофазні й багатокомпонентні течії, течії в нестискуваних рідинах (Рисунок 4.13).

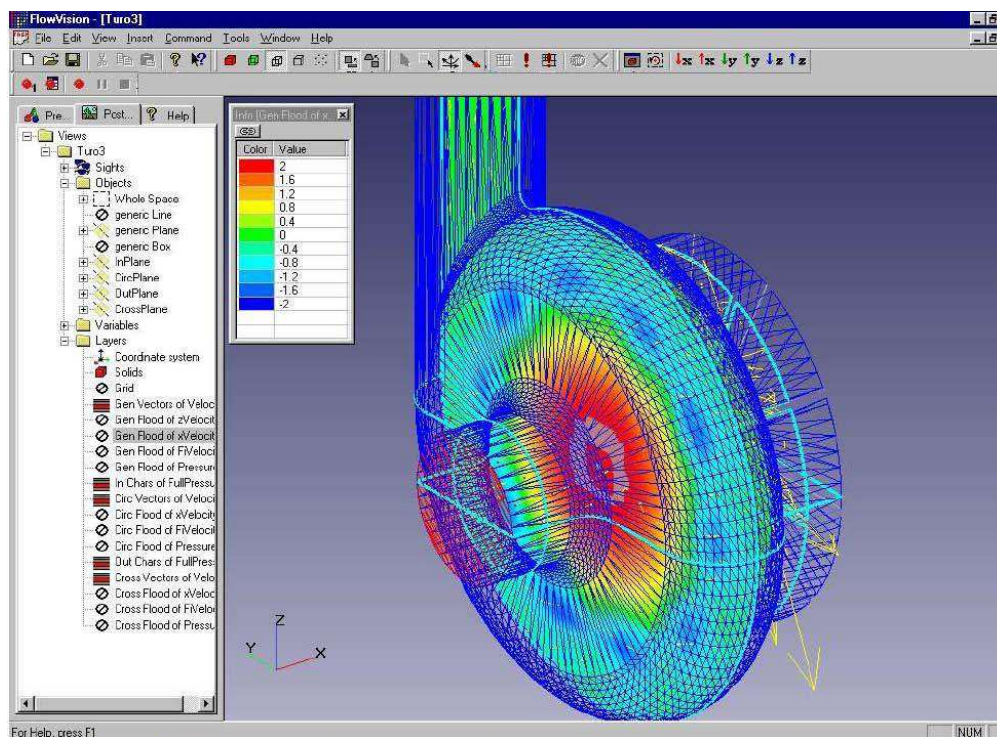


Рисунок 4.13 – Розрахунок течії в вихровому насосі

При розгляді актуальних промислових завдань розрахункова модель повинна забезпечувати точну передачу геометрії без спрощень, характерних для задач розрахунку напружено-деформованого стану.

У ряді випадків навіть наявність геометричної симетрії в моделі не дозволяє розглядати половину моделі з огляду на несиметричності течії. Це призводить до серйозного збільшення розмірності і збільшення часу розрахунків. Характерні розмірності для задач зовнішнього обтікання можуть бути до 50 млн елементів і більше, залежно від деталізованості геометрії і застосованих розрахункових моделей.

Спочатку обчислювальна гідро-аеродинаміка використовувалася стосовно завдань проєктування авіаційної, космічної техніки і суднобудування. З розвитком програмних засобів і підвищенням продуктивності настільних персональних комп'ютерів вона знаходить все більш широке застосування і в інших галузях. Деякі, що стали звичними, продукти було б дуже важко спроектувати без її використання, наприклад струменеві принтери. Використання CFD при проєктуванні струменевих принтерів виправдано і дає ряд переваг для вивчення того, як форма, розмір і швидкість іпускаємої краплі залежать від таких параметрів, як імпульс керуючого тиску, форма форсунки, коефіцієнт поверхневого натягу, і багато іншого (Рисунок 4.14).

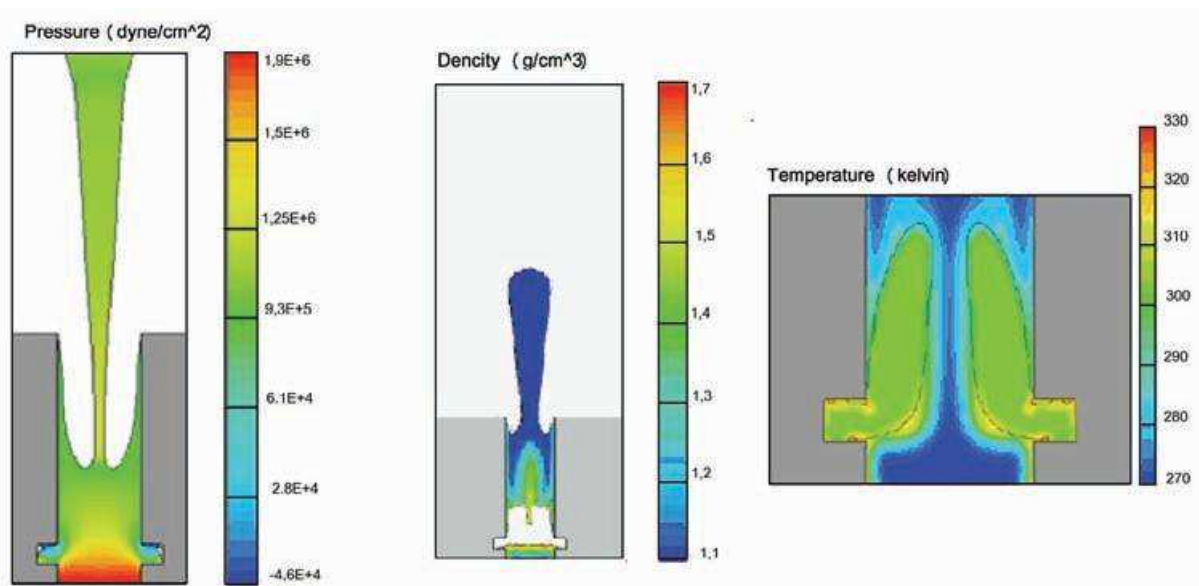


Рисунок 4.14 – Моделювання утворення краплі в струменевому принтері

Іншим прикладом використання CFD для створення побутових продуктів можна назвати моделювання течій в водопровідних та каналізаційних системах. Одним зі складних для розрахунку об'єктів є звичайний унітаз.

Обчислювальна аеродинаміка сьогодні широко використовується для проектування систем вентиляції електроапаратури та приміщень, оцінки навантажень на житлові та промислові будівлі, мости, гідротехнічні споруди та ін.

4.8 Електростатика та електродинаміка

У зв'язку з масовим впровадженням електронних пристроїв до складу практично будь-яких виробів машинобудування, від складної авіаційної техніки до побутових приладів, завдання моделювання електромагнітних полів, що створюються цими пристроями, їх взаємодії між собою і вплив на навколишнє середовище стало як ніколи актуальним. Тому більшість постачальників інтегрованих САЕ-систем пропонують спеціалізовані модулі для 3D-моделювання роботи електромагнітних і електромеханічних виробів в низькочастотному наближенні. Розрахунки проводяться, як правило, методом кінцевих елементів, що дозволяє розв'язувати рівняння прямим методом без спрощень і припущень. Модулі розраховують електричні і магнітні поля, моменти і сили, енергетичні втрати на вихрові струми, значення струмів, напруг, проводимостей, ємностей, індуктивностей в проєктованих електротехнічних виробках, розрахунок імпульсних електромагнітних полів, що виникають в електричних пристроях при скачках напруги і струмів.

Питання для самоконтролю

1. У чому полягає перевага концепції віртуальної будівлі перед використанням традиційних 2D та 3D-систем?
2. Які основні програмні компоненти входять в EDA-систему?

3. Для чого потрібен асоціативний зв'язок між принциповою електричною схемою і редактором друкованих плат?
4. Що таке мехатроніка?
5. У чому полягає перевага масштабно-незалежних ГПС?
6. У чому причина поширеності чисельних методів в системах інженерних розрахунків у порівнянні з аналітичними методами?
7. Назвіть основні етапи побудови розрахункової моделі.
8. Що таке пряма і зворотна задачі кінематики?
9. В яких галузях використовується обчислювальна гідро-аеродинаміка?
10. Чому завдання CFD вимагають побудови деталізованих розрахункових сіток?

ТЕМА 5

САМ-СИСТЕМИ. ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

Зміст теми:

- 5.1 Історичний огляд САМ-систем
- 5.2 Характеристика САМ-систем
- 5.3 Верифікація та оптимізація NC-програм
- 5.4 Види траєкторій для обробки деталей
- 5.5 CAPP - технологічна підготовка
- 5.6 Цифрове виробництво

5.1 Історичний огляд САМ-систем

Виробництво за допомогою комп'ютера (Computer-Aided Manufacturing, САМ) – термін, який використовується для позначення програмного забезпечення, основною метою якого є створення програм для керування верстатами з числовим програмним керуванням (англ. CNC - Computer Numerical Control).

Числове програмне керування, або ЧПК, означає комп'ютеризовану систему управління, що зчитує інструкції спеціалізованої мови програмування і керується приводами метало-, дерево- пластмасооброблювальних верстатів і верстатним оснащенням.

Інтерпретатор системи ЧПК виробляє переклад програми з вхідної мови в команди управління головним приводом, приводами подач, контролерами управління вузлів верстата (наприклад, включити або вимкнути, охолодження). Для визначення необхідної траєкторії руху робочого органу в цілому (інструменту або заготовки) відповідно до керуючої програми (КП) використовується інтерполятор, який розраховує положення проміжних точок траєкторії по заданим в програмі кінцевим. Абревіатура ЧПК відповідає двом англomовним – NC (numeric control) і

CNC (computer numeric control) та відображає еволюцію розвитку систем управління обладнанням.

Системи типу NC, що з'явилися в кінці 40-х років XX століття, передбачали використання жорстко заданих схем керування обробкою, завдання програми за допомогою штекерів або перемикачів, зберігання програм на зовнішніх носіях, таких як магнітні стрічки, перфоровані паперові стрічки. Будь-яких пристроїв оперативного зберігання даних, керуючих мікропроцесорів не передбачалося.

Системи ЧПК, описувані як CNC, засновані на процесорі з оперативною пам'яттю, з операційною системою. Приводи управляються власними мікроконтролерами.

Перший верстат з ЧПК був створений в 1954 році в Массачусетському технологічному інституті. Програма для обладнання з ЧПК може бути завантажена з зовнішніх носіїв, наприклад, дискет або флеш-накопичувачів. Окрім цього, обробка з використанням ЧПК збільшує продуктивність і акуратність операцій, гарантує постійний рівень якості, який в більшості випадків набагато перевищує якість традиційної ручної обробки. Багато замовлень, від яких раніше доводилося відмовлятися, зараз можна виконувати з легкістю і без великих зусиль, що між тим вважається ексклюзивним і становить категорію найбільшого прибутку.

Основна мова програмування ЧПК – G-код, описаний документом ISO 6983 Міжнародного комітету зі стандартів. G-код був створений компанією Electronic Industries Alliance на початку 1960-х років. Фінальна доробка була схвалена в лютому 1980 року як стандарт RS274D. Комітет ISO затвердив G8 код як стандарт ISO 698381:1982, Держкомітет по стандартах СРСР - як ГОСТ 20999-83. У старій технічній літературі G8 код позначається як код ISO 78 біт (ISO 7 bit).

Виробники систем управління використовують G-код в якості базової підмножини мови програмування, розширюючи його на свій розсуд. В окремих випадках, наприклад, системи управління гравірувальними верстатами, мова управління принципово відрізняється від стандарту. Для простих завдань, наприклад розкрій плоских заготовок, система ЧПК в якості вхідної інформації може використовувати текстовий файл у форматі обміну даними, наприклад DXF або HP-GL.

Програма, написана з використанням G-кода, має жорстку структуру. Всі команди управління об'єднуються в кадри – групи, що складаються з однієї або більше команд. Кадр завершується символом переведення рядка (ПС/LF) і має номер, за винятком першого кадру програми і коментарів. Порядок команд в кадрі строго не обмовляється, але зазвичай мається на увазі, що першими вказуються підготовчі команди (наприклад, вибір робочої площини), потім команди переміщення, далі вибору режимів обробки і технологічні команди. Розглянемо приклад програми, написаної на G-коді і керуючої фрезерним верстатом, який обробляє букву V розміром 17x24 мм і глибиною 1 мм. Червоним кольором на рисунку 5.1 позначений результат обробки.

5.2 Характеристика САМ-систем

Написання та налагодження програм безпосередньо на G-коді для деталей складної форми є досить трудомістким процесом, тому цей процес автоматизований шляхом створення САМ-систем. Вхідними даними системи САМ є геометрична модель виробу, розроблена в системі автоматизованого проєктування (CAD). У процесі інтерактивної роботи з тривимірною моделлю в САМ-системі інженер визначає траєкторії і швидкість руху ріжучого інструменту по заготовці виробу (CL-дані, англ. Cutting Location), які потім автоматично верифікуються, візуалізуються (для візуальної перевірки коректності) і обробляються постпроцесором для отримання програми керуванням конкретним верстатом у вигляді G-коду.

САМ-системи дозволяють «підняти» програмування для верстатів з ЧПК на більш високий рівень в порівнянні з рутинним ручним програмуванням. Узагальнюючи, можна сказати, що САМ-системи полегшують працю технолога-програміста в трьох головних напрямках:

- вони позбавляють технолога-програміста від необхідності робити математичні обчислення вручну;
- дозволяють створювати на одному базовому мовою керуючі програми для різного устаткування з ЧПК;

- нарешті, вони забезпечують технолога типовими функціями, що автоматизують ту чи іншу обробку.

Процеси обробки, створені і налагоджені в САМ-системі, можна зберігати і застосовувати повторно, використовуючи базу знань. Функції моделювання допомагають підготувати геометрію для потреб обробки за допомогою створення каркасної, поверхневої і твердотілої геометрії.

Вбудований механізм імітації видалення матеріалу точно відображає весь процес обробки, показуючи як зміну в часі геометрії заготовки, так і всі можливі колізії. Результат розрахунку можна порівняти з вихідною геометрією моделі, виявивши залишки матеріалу або зарізи. Повна асоціативність між геометрією, параметрами процесу і траєкторіями дозволяє швидко змінювати модель і параметри обробки і автоматично отримувати скориговані траєкторії.

САМ-системи забезпечують перевірку складних переміщень інструменту на віртуальній моделі верстата для впевненості, що інструмент не конфліктує з приладами, деталями верстата і заготовкою, до виконання програми в цеху дозволяє уникнути дорогих помилок.

5.3 Верифікація та оптимізація NC-програм

Інструменти верифікації надають програмісту можливості для перевірки траєкторії руху інструменту в NC-програмі до її відправки в цех. Такий метод практично повністю виключає як можливість аварійної відмови верстата, так і важкість доведення NC-програми. Багато підприємств констатують, що застосування верифікаторів призводить до суттєвої економії матеріалів, витрат робочої сили і робочого ресурсу дорогого устаткування.

У разі використання опцій оптимізації програмне забезпечення читає файл шляху руху інструменту (NC-програму) і автоматично змінює призначені швидкості подачі так, щоб підібрати найбільш оптимальну подачу в залежності від умов обробки і параметрів ріжучого інструменту.

Індивідуальний підбір режимів різання підвищує ефективність процесу обробки і зменшує час виготовлення деталі без втрати якості. Як правило, існують окремі методи оптимізації для різних матеріалів або видів обробки. Наприклад, в процесі чорнової обробки алюмінієвих плит матеріал був видалений на постійну глибину, але радіальна ширина зрізу може змінюватися. Для операцій даного типу є спеціальні методика підтримки постійної швидкості різання, що забезпечують відсутність биття фрези і сталість знімання металу. Використання цих методик в програмному забезпеченні оптимізаторів дає можливість визначити кількість матеріалу, вилученого в кожному сегменті шляху інструменту, а також дозволяє автоматично призначити оптимальну швидкість подачі.

5.4 Види обробки. Види траєкторій для обробки деталей

У практиці ЧПК прийнято класифікувати види обробки за кількістю ступенів свободи інструменту: 2D, 2.5D, 3D і 5D, - а також за типом обробки: токарна, фрезерна, електроерозійна та ін.

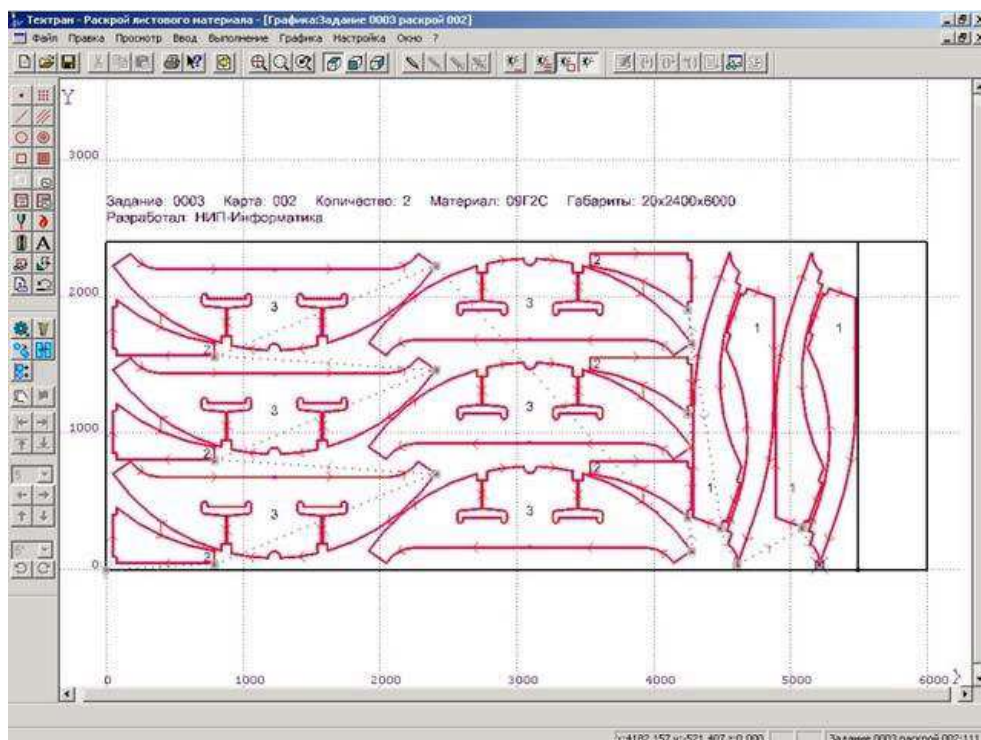


Рисунок 5.1 - Карта 2D-траєкторій для розкрою листового матеріалу на верстаті з ЧПК

Найбільш простими є верстати з ЧПК, які використовують для обробки тільки дві координати: токарні, ерозійні дробові, газового та плазмового різання, навіть існують фрезерні верстати, які керуються тільки за координатами X і Y. Ці верстати виконують 2D-обробку.

Особливим випадком токарної обробки є токарно-фрезерна, коли замість жорсткого різця на токарному верстаті використовується фреза, яка обертається. У разі токарно-фрезерної обробки САМ-система відображає на екрані траєкторію, розгорнуту в просторі таким чином, як якщо б не деталь позиціонувалася певним чином при нерухомому інструменті, а, навпаки, фреза або свердло оберталися навколо зафіксованої деталі. Такий підхід дозволяє досягти більшої наочності, уникавши накладення безлічі траєкторій біля інструменту, обмеженого в переміщеннях двома координатами (складова по третій координаті задається за рахунок повороту заготовки) (Рисунок 5.2).

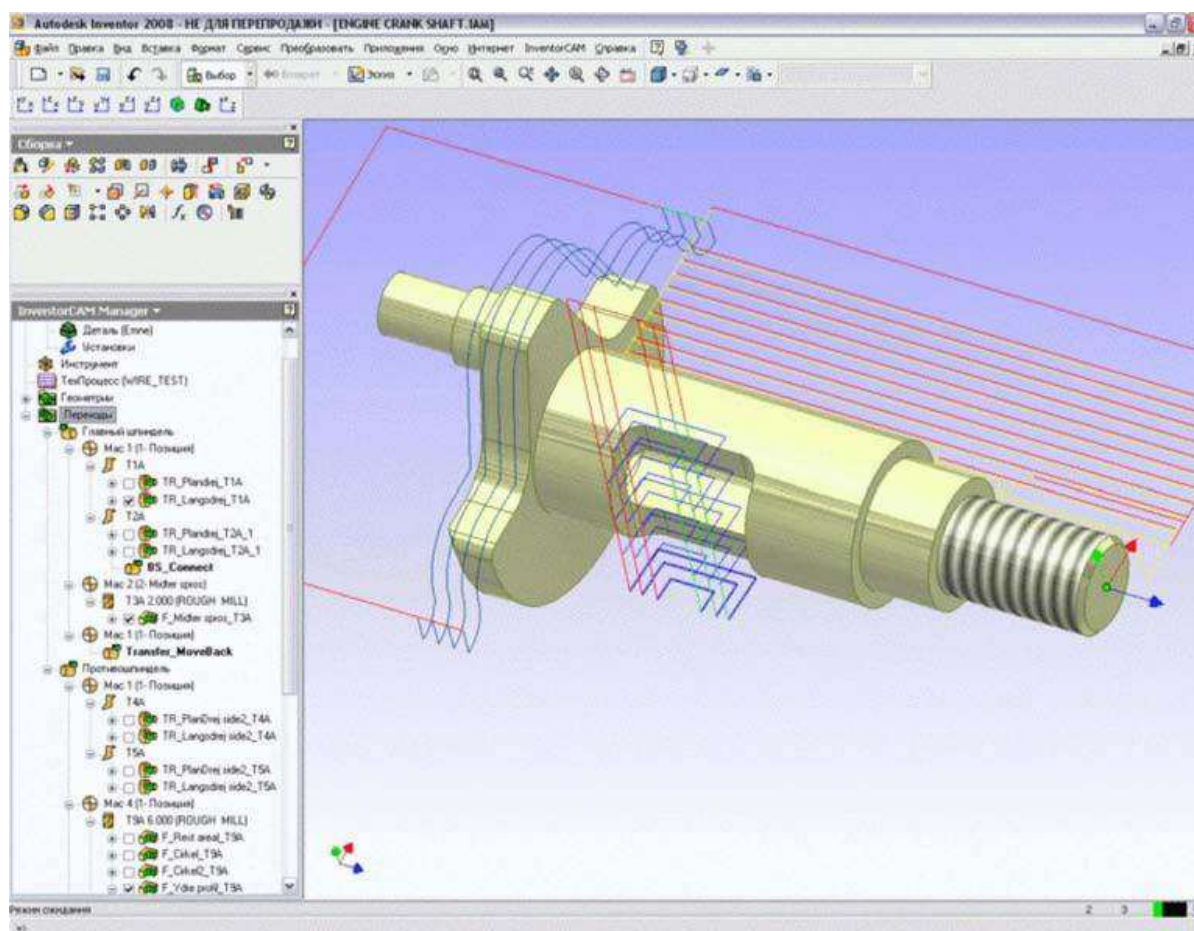


Рисунок 5.2 – Симуляція токарно-фрезерної обробки

При виконанні токарно-фрезерних переходів може бути обраний один із таких способів управління віссю обертання в КП:

- Поворот заготовки для обробки в фіксованих положеннях – (координати X , Y , Z змінюються безперервно при постійній C). Плоска траєкторія інструменту, як у звичайної фрезерної обробки, але орієнтована певним чином по відношенню до циліндричної заготовки.

- Обробка за рахунок безперервного обертання заготовки – (координати X , Z , C змінюються безперервно при постійній Y).

Проектування плоскої траєкторії на циліндричну поверхню. Зокрема, запрограмоване в такому режимі переміщення по відрізьку породжує радіальний або гвинтовий паз. Завданням поперечного зсуву для осі інструменту можна домогтися того, щоб стінки паза не сходилися до центру, а були паралельні.

- Обробка за рахунок безперервного обертання заготовки (Координати X , Y , Z змінюються безперервно). Відрізняється від попереднього способу представлення в КП тим, що в даному випадку в КП програмується плоска траєкторія в режимі «намотування» на циліндр.

Відносно орієнтації осі інструменту при обробці найпростіше справа йде з геометрією для позиційних переходів. Найбільш поширений випадок – свердління радіальних отворів або свердління отворів по торцю деталі. І в тому, і в іншому випадку досить вказати точки виконання обробки, не будуючи допоміжних систем координат і обчислюючи кути повороту заготовки.

Особливо варто розглянути верстати для D-обробки. Верстати цієї групи можуть переміщувати інструмент тільки по двох координатах одночасно. Наприклад, можуть виконати обробку складного контуру в площині XY , але щоб перемістити інструмент по Z , необхідно повністю зупинитися за іншими координатами. Популярність цього підходу викликана тим, що близько половини керуючих програм основного виробництва виконуються в стилі D-обробки. Вони короткі, зрозумілі і практично завжди застосовуються з використанням контурної корекції, що, в свою чергу, дозволяє здешевити виробництво і підвищити якість виготовлених деталей. У найпростішому випадку загальна глибина обробки може бути роз-

бита на шари, для кожного з яких буде проведена обробка за індивідуальним алгоритмом.

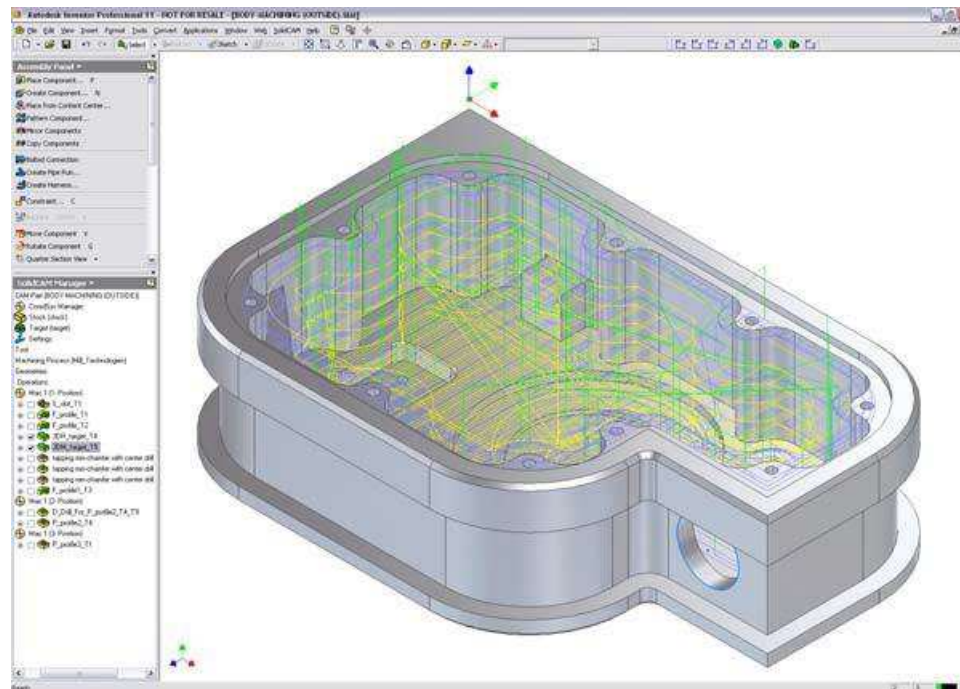


Рисунок 5.3 – Фрезерна обробка в режимі 2D

При побудові траєкторії відбувається автоматичне перемикання подачі в залежності від типу ділянки. Рівні обробки можуть задаватися або в абсолютних значеннях, або щодо оброблюваного шару.

Найбільш популярні в даний час фрезерні верстати, що виконують повноцінну 3D-обробку. Ці верстати можуть переміщувати інструмент по трьом координатам одночасно.

Верстати з можливістю п'ятикоординатної обробки можуть управляти не тільки лінійними координатами інструменту XYZ, але також і його нахилом, таким чином, з'являються ще два ступеня свободи. Подібні верстати дають можливість точно обробляти складні криволінійні поверхні. П'ятикоординатні верстати, в свою чергу, діляться за типом обробки на позиційні і безперервні.

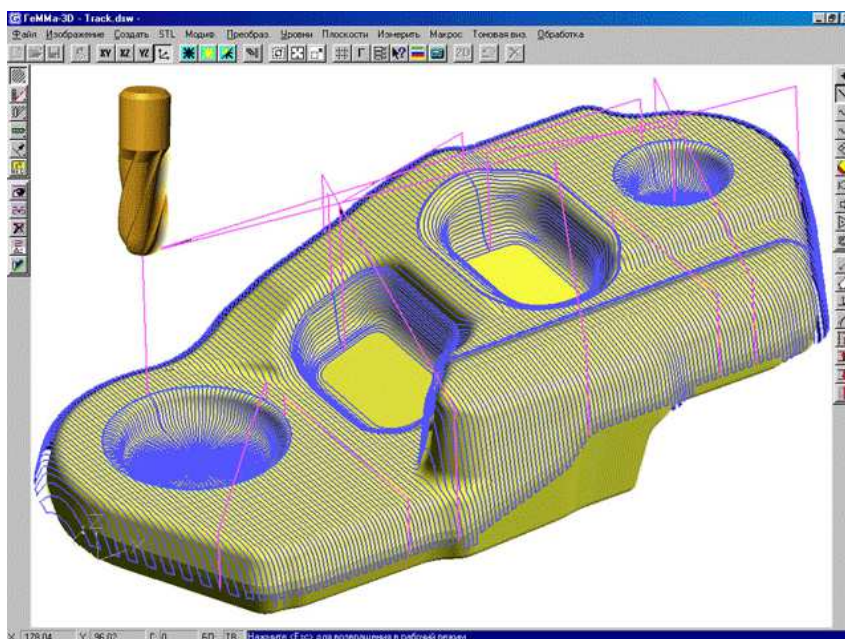


Рисунок 5.4 – Фрезерна обробка в режимі 3D

5.5 CAPP - технологічна підготовка

Автоматизована технологічна підготовка виробництва (англ. Computer Aided Process Planning, CAPP) використовується для позначення програмних інструментів, що застосовуються на стику систем автоматизованого проектування і виробництва. Завдання технологічної підготовки – по створеній конструкторами CAD-моделі виробу скласти план його виробництва, який називається операційною, або маршрутною, картою. Цей план містить вказівки про послідовність технологічних і складальних операцій, верстати і інструменти, які використовуються, режими обробки та ін.

Технологічна підготовка виробництва завжди здійснюється за наявною базою даних типових технологічних процесів, які застосовуються на конкретному підприємстві. Розрізняють два підходи до автоматизованої технологічної підготовки - модифікований (варіантний) і генеративний.

При модифікованому підході завдання CAPP-системи полягає в пошуку найбільш схожого виробу в існуючій базі даних і пред'явленні його операційної

карти для модифікації. При модифікованому підході широко застосовується групова технологія, що дозволяє проводити класифікації деталей в сімейства схожих.

Групова технологія використовується при модифікованому підході до технологічної підготовки виробництва. Вона полягає в класифікації деталей в сімейства, що представляють собою сукупність об'єктів, подібних один одному по геометричній формі, розмірам і технологічним процесам їх виготовлення. Віднесення деталі до відомого сімейства на основі її форми і розмірів дозволяє швидко знайти в технологічній базі даних підприємства послідовність процесів, які використовуються для виготовлення схожих деталей, і модифікувати її для виготовлення нової деталі.

Ще одне призначення групова технологія знаходить при компонуванні обладнання у виробничому цеху. Класична схема компонування полягає в угрупованні верстатів за видами обробки (токарний, фрезерний, свердлильний, шліфувальний і складальний ділянки). Однак дана схема має очевидний недолік в разі, якщо підприємство виробляє невелику кількість родин деталей (в порівнянні з обсягами виробництва), тоді накладні витрати на передачу заготовок з дільниці на дільницю дуже високі. Альтернативна схема компонування верстатів при подібному варіанті полягає в розміщенні їх по дільницях відповідно до родини деталей. У цьому випадку кожна ділянка відповідає за виготовлення деталей свого сімейства.

Генеративний підхід полягає в розпізнаванні у деталі типових конструктивних елементів та застосування до них типових технологічних процесів (токарна обробка, свердління та інше). При генеративному підході використовуються відомі методи штучного інтелекту для розпізнавання елементів і логічного висновку.

Важливим елементом САРР-систем є їх відкритість. Це означає, що систему можна не тільки налаштовувати на вирішення завдань конкретного підприємства, а й модернізувати як на рівні інтерфейсу, так і на рівні функціонального призначення. Зазвичай до складу системи входить спеціальний редактор, за допомогою якого створюються бланки документів. Тому кожне підприємство, що використо-

вує нестандартні форми документації, може без залучення сторонніх програмістів створити необхідний комплект документів.

5.6 Цифрове виробництво

Наступним кроком у розвитку САРР-систем стала поява засобів цифрового реалістичного моделювання виробничих процесів, які об'єднують в собі логістику традиційних САРР, моделювання технологічних процесів на рівні САМ-систем і доповнене можливостями симуляції ергономічних процесів, тобто поведінки людей, що беруть участь у виробництві. Будучи оснащеними розвиненими засобами оптимізації, такі системи дозволяють створювати досконалі технологічні процеси, моделювати виробництво в масштабах підприємства, відпрацьовувати не тільки виробничі процеси, а й експлуатаційні і ремонтні операції, тим самим реалізуючи концепцію управління життєвим циклом виробу (PLM).

Найбільш характерними рішеннями цього класу є Technomatics компанії Siemens PLM Software і Delmia компанії Dassault Systemes. Обидві системи мають розвинені і різноманітні можливості та поставляються в декількох варіантах, які забезпечують вирішення наступних завдань:

- моделювання складних виробничих систем і стратегій управління;
- побудова ієрархічних об'єктно-орієнтованих моделей, що включають виробничі, логістичні та бізнес-процеси;
- створення і використання спеціалізованих об'єктних бібліотек для швидкого моделювання типових об'єктів; формування діаграм і графіків для аналізу продуктивності,
- ресурсів і вузьких місць;
- аналіз спроектованих виробничих і життєвих циклів, включаючи аналізатори вузьких місць, побудова діаграм Ганта і Сенкі;
- тривимірна анімація і візуалізація виробничих і експлуатаційних процесів;
- оптимізація процесів і ресурсів на основі генетичних алгоритмів;

- сполучення з ERP і MES-системами за рахунок відкритої архітектури, що підтримує різні інтерфейси (ORACLE, SQL, ODBC, XML, CAD, Socket, ActiveX і т. д.).

На сучасних успішних підприємствах, що досягають ефективності та конкурентоспроможності за рахунок зниження собівартості і скорочення часу виходу продукту на ринок, логістика стає ключовою технологією. Таким чином, використання підходів just-in-time (точно вчасно) і just-in-sequence (в належному порядку), проєктування нових і модернізація наявних виробничих, транспортних і обслуговуючих потужностей вимагають наявності об'єктивних критеріїв для порівняння і оцінки різних рішень ще на етапі прийняття рішень.

Системи цифрового моделювання виробництва забезпечують створення моделі виробничих і логістичних процесів, систем з метою аналізу та оптимізації їх характеристик. Ці моделі дозволяють проводити віртуальні експерименти і аналіз за принципом «що, якщо» без втручання в роботу реальної системи або задовго до початку будівництва реальних виробничих потужностей. Потужні засоби збору детальної статистики, аналізу та візуалізації дають проєктувальнику можливість оцінити різні варіанти і на основі їх порівняльного аналізу вжити рішення на ранніх стадіях проєктування виробництва.

Моделювання з використанням цифрової моделі виробничого циклу використовується також для оптимізації продуктивності, виявлення і «розширки» вузьких місць і мінімізації обсягу незавершеного виробництва. За допомогою цифрової моделі можна розрахувати необхідні виробничі ресурси, врахувати зовнішніх і внутрішніх постачальників, супутні бізнес-процеси і інші чинники, аналізуючи їх вплив на майбутнє виробництво. Таким чином, з'являється можливість порівняти різні стратегії управління об'єктом, перевірити ритмічність роботи технологічних ліній і окремих ділянок. Ставлячи різні правила і параметри для потоків матеріалів і комплектуючих, можна перевірити, як вони впливають на інтегральні показники роботи всієї виробничої системи.

В системи вбудовані модулі для моделювання та програмування роботизованих виробничих ділянок. Це дозволяє оптимізувати і узгодити час циклів, пози-

ції, руху кожного робота, виключити реальні колізії між роботами, деталями, інструментами, оснащенням і оточенням. На додаток до програмування кожного окремого робота також можливо моделювання всього роботизованого процесу підприємства, так само як і змішаного – за участю роботів і людей.

Підсистеми моделювання робочих місць дозволяють здійснювати ергономічний аналіз робочого місця з урахуванням ергономічних стандартів. Ергономічний аналіз може бути проведений як в статичному режимі (використовуючи інтерактивні серії запитів і слідуючи конкретним стандартам), так і в динамічному з використанням анімованих манекенів. Ці модулі забезпечують не тільки формування оптимального робочого циклу співробітників, але і дотримання норм і правил техніки безпеки, раціонального планування відпочинку і перерв, визначення необхідної кількості співробітників.

Окремо ефективно застосування модулів моделювання ергономіки на етапі проектування виробів і продуктів, що забезпечує їх збирання, ремонтпридатність, високі експлуатаційні якості.

Спеціалізовані модулі систем цифрового виробництва дозволяють також враховувати в моделі випадкові чинники, такі як збої обладнання, відхилення від номінальних значень часів обробки деталей, переналадок і інших параметрів. Випадкова величина відхилення будь-якого параметра може бути задана у вигляді математичного розподілу, при цьому відхилення можливі декількох типів, або у вигляді емпіричного розподілу, в тому випадку коли потрібно врахувати наявну на підприємстві реальну статистику надійності обладнання.

Таким чином, системи цифрового моделювання виробництва дозволяють створити віртуальне підприємство, що враховує всі виробничі процеси і ресурси: обладнання, промислових роботів, людські ресурси, потоки матеріалів і енергії та ін., в якому можна змінювати будь-які параметри, домагаючись найбільш підходящої конфігурації. Підприємства, які володіють такими віртуальними моделями, здатні ефективно контролювати і управляти циклами створення продуктів і запуску їх у виробництво. Цифрові моделі виробництва забезпечують не тільки моделювання локальних процесів (наприклад, роботи верстатів з ЧПК), але і всіх ета-

пів життєвого циклу продукту - від формування концепції та проектування, через виготовлення і виробництво, до експлуатації, ремонту і утилізації.

Питання для самоконтролю

1. У чому відмінність NC і CNC-систем?
2. Що дає використання САМ-систем в порівнянні з розробкою керуючих програм безпосередньо на G-кодi?
3. Чим відрізняються 2D і 3D-обробки?
4. Що таке позиційна обробка?
5. В яких напрямках вимірюються кути випередження і відхилення?
6. Назвіть два основні підходи до автоматизованої технологічної підготовки.
7. Що таке групова технологія?
8. В чому полягає суть генеративного підходу до проектування технологічної документації?
9. Дайте поняття узагальненого технологічного процесу.
10. Які переваги дають системи цифрового моделювання віртуального підприємства?

ТЕМА 6

ВИБІР СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Зміст теми:

- 6.1 Ініціація процесу вибору САПР
- 6.2 З'ясування потенційних переваг системи
- 6.3 Формалізація вимог до системи
- 6.4 Аналіз витрат на придбання САПР
- 6.5 Вибір системи САПР

6.1 Ініціація процесу вибору САПР

Вибір САПР – це непросте завдання як для невеликих компаній, так і для великих корпорацій. Для підприємств малого та середнього бізнесу ситуація ускладнюється тим, що, як правило, вони не мають у своєму розпорядженні істотних фінансових і людських ресурсів, що забезпечують ретельний аналіз передбачуваних до впровадження систем, якими володіють великі підприємства.

Процес вибору всіх компонент САПР – CAD, CAM, CAE, PDM часто характеризується невисоким рівнем аргументації, недостатньою глибиною аналізу стратегічних аспектів, слабким розумінням середовища розробки виробу і пропозицій, спрямованих на її поліпшення, дуже приблизною оцінкою коефіцієнта віддачі інвестицій (Return On Investment, ROI) та інших важливих критеріїв.

Чим більша компанія і чим складніше її структура, тим складнішим видається процес вироблення рішення. Це обумовлено тим, що в промисловості САПР є важливим інструментом розробки виробів, який може грати критично важливу роль при узгодженні організаційних цілей, але при всій своїй важливості це тільки один з багатьох інструментів, з якими також необхідно взаємодіяти.

Ще в недавньому минулому застосування САПР зводилося до схеми проєктування, прийнятої при роботі з паперовими документами. Однак глобальні зміни

у світовій економіці за останні десятиліття внесли нові чинники, які потрібно враховувати:

- необхідно забезпечувати швидкий вихід продукту на ринок;
- високі вимоги до якості виробу, яке має відповідати світовому рівню;
- діяльність в умовах глобальної економіки, коли клієнти, постачальники і розробники виробу можуть перебувати в будь-якій точці земної кулі;
- необхідність зниження витрат через високу цінової конкуренції світових виробників.

Найважливіша вимога – відповідність системи розробки виробів цілям і завданням компанії. Тому при виборі нового програмного продукту слід знайти відповіді на наступні питання:

Чи потрібна взагалі нова система? Чи відповідає наявна система поточним і перспективним цілям?

Чи забезпечує вона конкурентоспроможність? Чи можна вдосконалити поточну систему?

Які можливості нового продукту відсутні в поточній системі? Відповідаючи на це питання, доцільно сформулювати список цих додаткових функцій.

Яку економію можна очікувати? Нова система потребуватиме певного часу на освоєння і певної суми на придбання.

На який економічний ефект можна розраховувати? За який період?

Якими будуть витрати при використанні нової системи? Впровадження або оновлення програмних продуктів для розробки виробів варто розглядати як послідовність логічних етапів.

Процес оновлення починається з прийняття рішення про необхідність удосконалення існуючої системи або заміни її новою системою. Для цього доведеться відповісти собі на цілий ряд досить простих питань:

Як давно оновлювалася система розробки виробів? Робилося це в останні 3-5 років?

Чи працюють ваші конструктори / розробники в 3D?

Чи задоволені ви якістю вашої продукції?

Чи задоволені ви термінами розробки виробів і термінами виведення виробів на ринок?

Наскільки високий відсоток своєчасних відповідей на заявки і пропозиції?

Наскільки конкурентоспроможним є ваше підприємство з точки зору витрат на розробку і виведення виробу на ринок?

Чи можете ви обмінюватися проєктними даними з вашими замовниками і/або постачальниками, якщо виникає така необхідність? І якщо такий обмін має місце, то чи можете ви забезпечити необхідну безпеку процесу і збереження ключових даних про виріб?

Чи підтримується синхронність змін в специфікаціях, які використовуються на етапі розробки виробу і на етапі його виробництва?

Чи є у вас ефективний доступ до фрагментів раніше виконаних проєктів і можливість їх використання в нових виробках?

Якщо хоча б на одне з цих питань відповідь негативна - можна вважати, що підприємство використовує середовище розробки, що не задовольняє сучасним цілям і задачам підприємства, і необхідно або її модифікувати, або вибрати нову систему.

6.2 З'ясування потенційних переваг системи

На цьому етапі потрібно визначити удосконалення, які необхідно зробити для поліпшення роботи підприємства, і переконатися, що за допомогою нової системи розробки можна домогтися такого поліпшення.

В першу чергу потрібно оцінити потенціал модернізації поточної системи. Якщо підприємство працює з просто застарілим програмним забезпеченням, тобто система розрахована тільки на 2D, або постачальник більше не підтримує цей продукт, то доцільно замінити програмне забезпечення на нове. І навпаки, якщо використовується сучасне програмне забезпечення, але не вдається досягти очікуваних переваг – можливо, система неякісно налаштована, або ж потрібні зміни в

бізнес-процесах і методах роботи, в цьому випадку придбання нового програмного рішення не допоможе.

При оцінці потенційних переваг нової системи CAD / CAM / CAE / PDM необхідно осмислити, яким чином можуть бути вдосконалені бізнес-процеси, пов'язані з життєвим циклом виробу, на конкретному підприємстві. Для цього потрібно відповісти на наступні питання:

Чи достатньо висока рентабельність підприємства?

Чи не занадто велика собівартість виробів?

Чи достатні ресурси, що направляються на розробки?

Чи достатньо конкурентноздатні вироби?

Чи є якість ваших виробів досить високою протягом всього життєвого циклу?

Чи не занадто довгий цикл розробки виробів?

Чи достатньо швидко підприємство реагує на зміни потреб ринку або на пропозиції клієнтів?

Отримавши відповіді на ці питання, слід з'ясувати, чи досяжні необхідні поліпшення іншими методами, ніж впровадження нового програмного забезпечення САПР, наприклад вдосконаленням бізнес-процесів, модернізацією обладнання, поліпшенням постачання і контролю якості, зміною конструкції виробів?

6.3 Формалізація вимог до системи

У разі отримання на попередньому етапі висновку про доцільність впровадження нової САПР необхідно сформулювати набір технічних вимог до неї, визначити, які функції повинна включати нова система і скільки це повинно коштувати. Потім, вибираючи найбільш важливі позиції, можна розробити поетапний план впровадження. Зразковий набір вимог може бути таким:

- можливість створення і управління комплексною інформацією про виріб (твердотілі моделі, кресленики, технологічні дані та ін.);
- перехід на 3D-моделювання;

- можливість роботи з даними, напрацьованими раніше в інших системах, в тому числі на папері; забезпечення перевірки даних;
- можливість управління процесами;
- спільна робота розробників як всередині підприємства, так і із суміжниками;
- інтеграція з виробничими системами;
- інтерфейс з іншими ІТ-системами, наприклад ERP.

Приймаючи рішення про важливість вимоги до системи, необхідно розглянути їх з позиції потенційного ефекту, оцінюючи внесок кожного удосконалення в досягнення загального результату. Найбільш важливими є ті вимоги, які дозволяють отримати найбільший ефект.

6.4 Аналіз витрат на придбання САПР

Домогтися економічного ефекту неможливо без аналізу витрат. Наведемо перелік основних завдань, що вирішуються при переході або впровадженні нової системи розробки:

- придбання програмного забезпечення для проєктування виробів, підготовки виробництва, інженерного аналізу, управління даними;
- навчання персоналу;
- налаштування нового програмного забезпечення під завдання співробітників;
- конвертація існуючих даних;
- придбання нового апаратного забезпечення;
- оновлення системного і офісного програмного забезпечення;
- оновлення комунікацій – більш швидкісні локальні мережі та доступ в Інтернет;
- установка серверів для зберігання загальнодоступних даних;
- перегляд і реорганізація бізнес-процесів, інформаційних потоків і технологічних маршрутів виробів, для того щоб скористатися перевагами нової системи;

- перегляд процедур затвердження паперових документів і процедур внесення змін;
- забезпечення доступу до проєктних даних не тільки для авторів – CAD-даних, а й, можливо в спрощеному варіанті, для співробітників, які перевіряють і затверджують документи.

Витрати на консультаційні послуги та навчання персоналу безпосередньо залежать від числа тих, хто навчається і від рівня їх поточної кваліфікації. При цьому необхідно врахувати можливі втрати часу і уповільнення темпу робіт, поки співробітники не навчаться швидко працювати в новій системі. Доцільно, щоб на кожному напрямку впроваджуваного нового функціоналу був лідер з числа просунутих користувачів або висококваліфікований консультант, здатний допомогти і порадити іншим співробітникам, - це істотно заощадить час і витрати.

Окремо варто зупинитися на конвертації напрацьованих даних. Це слід робити тільки в разі безумовної необхідності або явної користі. Не потрібно перетворювати відразу всі наявні дані, а тільки ті, які дійсно необхідні на поточний момент.

Дуже обережно слід ставитися до так званих «дешевих альтернатив» програмного забезпечення САПР. Робочі місця співробітників, які безпосередньо проєктують або вносять зміни, доцільно оснащувати повноцінними ліцензіями. Дешевші альтернативи існують, проте в цьому випадку функціонал, як правило, має обмеження, що призведе до меншої ефективності роботи.

Істотним чинником, що впливає на бюджет проєкту, є можливість масштабування програмних рішень. При складанні кошторису важливо визначитися, які компоненти програмного забезпечення повинні бути придбані і впроваджені відразу, а які можуть бути докуплені пізніше, в якості додатків.

6.5 Вибір системи САПР

В процесі вибору необхідно визначити найбільш підходящу для підприємства CAD / CAM / CAE / PDM-систему і переконатися в правильності вибору. До

цього етапу повинні бути чітко виділені основні проблеми, що перешкоджають підвищенню ефективності роботи підприємства, і сформульовані основні цілі проведених удосконалень. Обрана система повинна бути масштабованою на всіх етапах впровадження, так як її функціональність і сфера застосування можуть розширюватися.

Для здійснення вибору рекомендується провести наступні заходи:

- організувати групу співробітників, які будуть вирішувати ці проблеми, створити план їх роботи і механізм контролю його виконання;
- остаточно уточнити набір вимог до системи, як технічних, так і управлінських;
- для кожної позиції в списку вимог визначити конкретну очікувану користь. Якщо для якоїсь позиції це не вдається, вона не є значущою і повинна бути вилучена. Рекомендується обмежити список не більше ніж двома десятками вимог;
- впорядкувати вимоги, яким повинна відповідати система, за очікуваною користь, наприклад в чотири категорії: обов'язкові; досить важливі, що враховуються і необов'язкові;
- визначити бюджет;
- звернутися до декільком постачальникам різних систем;
- перевірити пропоновані системи на відповідність сформульованим вимогам шляхом порівняння систем за наданими описами, порівняння характеристик систем за результатами виконання тестових завдань або дослідної експлуатації системи на підприємстві;
- оцінити відповідність всіх систем обраним вимогам;
- вибрати того постачальника, який запропонував систему, найкращим чином задовольняє вимогам.

Безумовно, вибір істотно залежить від набору вимог, слід окремо сформулювати управлінські та технічні вимоги.

Консалтингові компанії пропонують готові набори вимог і методики їх оцінки. Розглянемо їх на прикладі досвіду американської компанії TechniCom, яка рекомендує наступний набір вимог з точки зору управління підприємством:

- вигоди від пропонованого рішення повинні відповідати цілям бізнесу, а витрати на впровадження – бути економічно ефективними на кожному його етапі;

- керівництво має бути впевнено, що співробітники підприємства зможуть в доступні терміни впровадити обране рішення. Важлива наявність кваліфікованих користувачів і консультантів, які зможуть допомогти в навчанні співробітників. Система повинна успішно використовуватися в разі заміни персоналу і найму нових співробітників;

- система забезпечує обмін даними в процесі організації взаємодії підприємства із суміжниками і постачальниками. Проектні дані повинні бути доступні для використання протягом довгого терміну. Система повинна володіти гнучкістю на випадок зміни характеру діяльності підприємства;

- розробник програмної системи повинен бути надійний у фінансовому плані, а його продукти повинні займати лідируючі позиції на ринку, повинен бути досвід ефективного використання аналогічних програмних засобів у підприємств-конкурентів. Повинні бути встановлені довгострокові відносини з постачальником програмного забезпечення, здатним надати технічну підтримку.

З точки зору технічних вимог рекомендується керуватися таким набором:

- система повинна забезпечувати можливість нарощування функціоналу і розширення області застосування без необхідності її заміни, тобто бути масштабованою;

- система повинна забезпечувати можливість створення і модифікації необхідної геометрії. Геометрія повинна містити всю необхідну для виробництва інформацію (форма, топологія, розміри, їх точність, чистота поверхонь та інші технічні вимоги);

- кресленики повинні бути повністю асоціативними, тобто повинна забезпечуватися можливість їх створення і підтримки їх відповідності 3D-моделі. Оформлення креслеників повинно відповідати стандартам, прийнятим на підприємстві;

- повинна бути забезпечена можливість проєктування всієї необхідної оснастки, проєктування і аналіз роботи пресформ і штампів, автоматизоване створення КП для обробки на верстатах з ЧПК, планування виробництва без необхідності конвертувати 3D-моделі в інші формати;

- повинні існувати кошти для проведення інженерного аналізу і отримання результатів розрахунків;

- система повинна містити широкий набір власних додатків або добре інтегрованих програм, розроблених сторонніми виробниками;

- система повинна підтримувати всі необхідні промислові стандарти – як для трансляції створених в ній даних в інші формати, так і для читання даних, створених в інших системах;

- засоби управління даними про виріб (PDM) повинні легко -інстальоватися і налаштовуватися, підтримувати здачу і вибір даних з архіву, а також контроль за їх зміною. PDM-система повинна підтримувати відносини між усіма файлами CAD / CAM / CAE-системи, зберігання і звернення до даних, не пов'язаних з CAD-геометрією;

- графічне відображення геометрії і креслеників повинно здійснюватися з високою якістю і продуктивністю для будь-яких 3D-моделей, що використовуються на підприємстві;

- інтерфейс користувача повинен бути інтуїтивно зрозумілим, простим в освоєнні і легким для запам'ятовування. Необхідна можливість налаштування інтерфейсу користувачем. Повинні існувати докладна документація і вбудовані засоби навчання;

- розробник системи повинен забезпечувати якісну підтримку програмного забезпечення, виправлення помилок і вирішення виникаючих проблем, а також консультації з питань, що стосуються використання його продукту.

Питання для самоконтролю

1. Яка головна вимога стоїть перед вибором САПР?
2. Назвіть основні етапи вибору САПР.
3. Назвіть основні джерела витрат при впровадженні САПР.
4. В чому полягає суть матричного методу оцінки САПР?
5. Які переваги дає використання матричного методу оцінки?
6. Назвіть заходи, які необхідно провести перед вибором САПР.
7. Яким вимогам має відповідати САПР з точки зору управління підприємством?
8. Яким технічним вимогам має відповідати САПР?

ТЕМА 7

ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ГРАФІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В CAD-СИСТЕМАХ

Зміст теми:

- 7.1 Машинна графіка й графічне моделювання в САПР
 - 7.1.1 Двовимірне й тривимірне проєктування в САПР
 - 7.1.2 Загальні поняття AutoCAD LT й аналогічних продуктів
 - 7.1.3 Машинобудівні додатки
- 7.2 Графічний редактор AutoCAD
 - 7.2.1 Типи моделей в AutoCAD
 - 7.2.2 Інтерфейс програми AutoCAD

7.1 Машинна графіка й графічне моделювання в САПР

7.1.1 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 проєктно-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 проєктування.

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

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

Тривимірні системи (3D) використовуються для синтезу конструкцій у машинобудуванні й проєктування 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 креслення).

7.1.2 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).

7.1.3 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 Corra Sheet Metal Bender Desktop (Data-M Software Gmb).

Моделювання динаміки роботи механізмів може виконуватися в системі Dy-namic Designer (Mechanical Dynamics).

7.2 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 кресленику. 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.

7.2.1 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 компонування 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. Твер-

до-тільні 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 не-правильної 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.

7.2.2 Інтерфейс програми AutoCAD

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

Для полегшення процесу випуску проєктної 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 екра-

нах 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

15. За рахунок чого при застосуванні САПР скорочується тривалість проєктно-конструкторських робіт?
16. Основні застосування 2D-графіки?
17. Основні застосування 3D-графіки?
18. Що собою представляють графічні редактори системи AutoCAD?
19. З яких компонентів складається програмний пакет AutoCAD?
20. Які завдання можуть бути вирішені за допомогою графічного редактора?
21. Які типи моделей в в 3D-графіці ви знаєте?
22. Які аналогічні продукти AutoCAD ви знаєте?
23. Які машинобудівні додатки ви знаєте?

ТЕМА 8

ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Зміст теми:

- 8.1 Типи тривимірних моделей
 - 8.1.1 Каркасні моделі
 - 8.1.2 Поверхневі моделі
 - 8.1.3 Твердотілі моделі
- 8.2 Методи задання тривимірних координат
 - 8.2.1 Декартові (прямокутні) координати
 - 8.2.2 Циліндричні та сферичні координати
- 8.3 Задання положення точок в 3D-просторі
 - 8.3.1 Координатні фільтри
 - 8.3.2 Світова система координат (ССК) та система координат користувача(ССК)
- 8.4 Середовище для просторових побудов
 - 8.4.1 Простір Моделі
 - 8.4.2 Простір Листа
- 8.5 Розфарбовування 3D об'єктів

8.1 Типи тривимірних моделей

8.1.1 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.

8.1.2 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.

8.1.3 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.

8.2 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.

8.2.1 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.

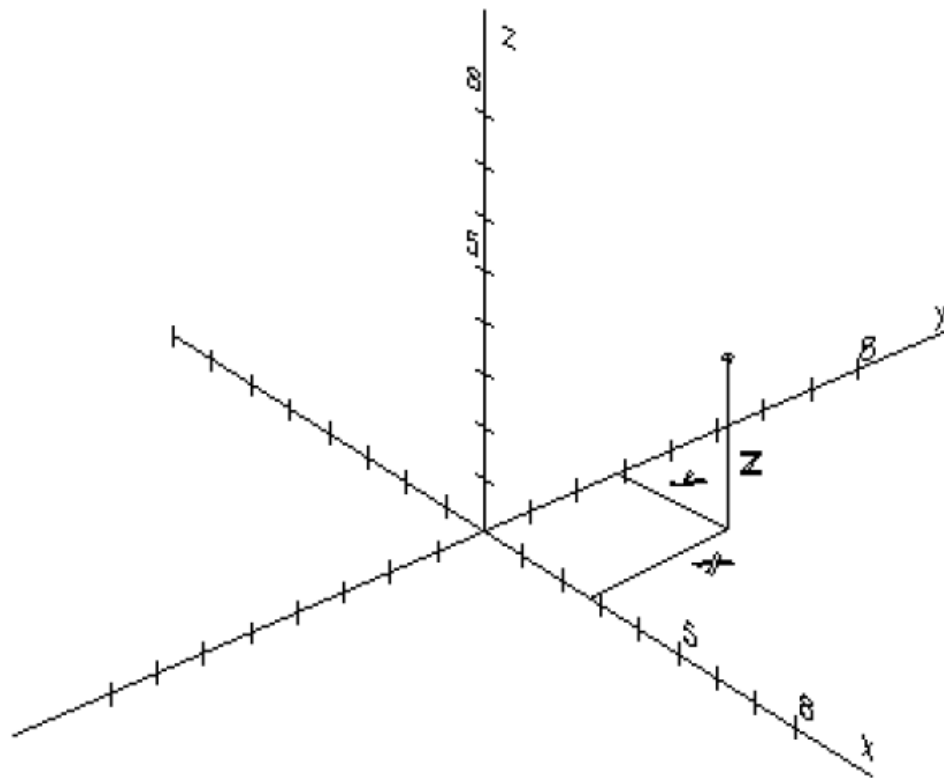


Рисунок 8.1 – Визначення місцеположення точки в декартових координатах

8.2.2 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 ρ від початку системи координат у площині XY, куту φ від осі X у площині XY і значення Z (Рисунок 8.2).

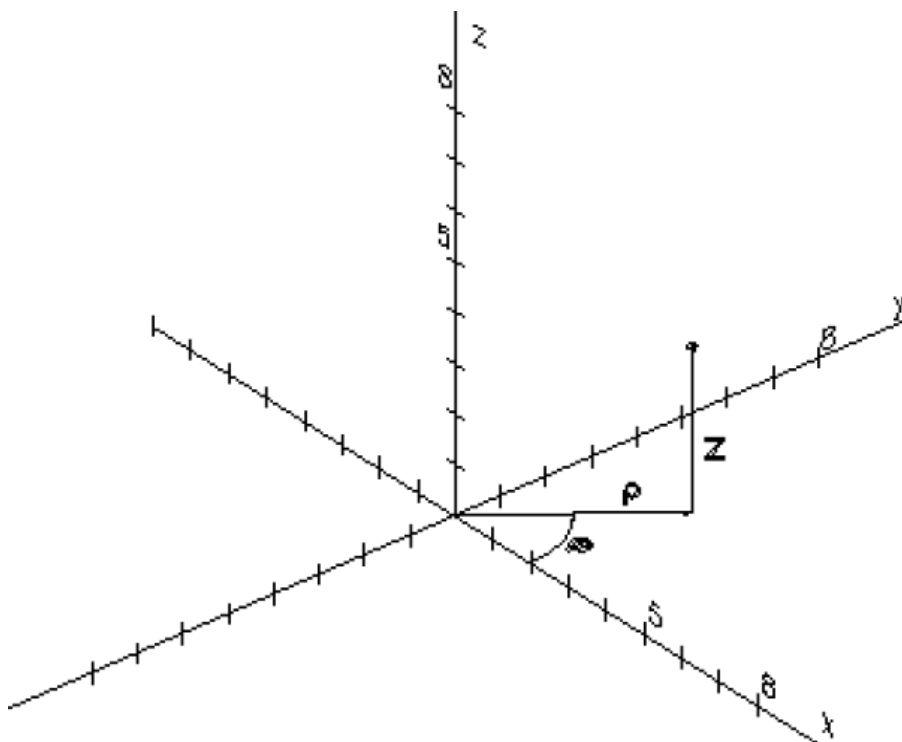


Рисунок 8.2 – Визначення місцеположення точки в циліндричних координатах

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° 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° 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 ρ від початку координат поточної системи координат, кутом φ від осі X у площині XY і кутом ψ до площини XY (Рисунок 8.3).

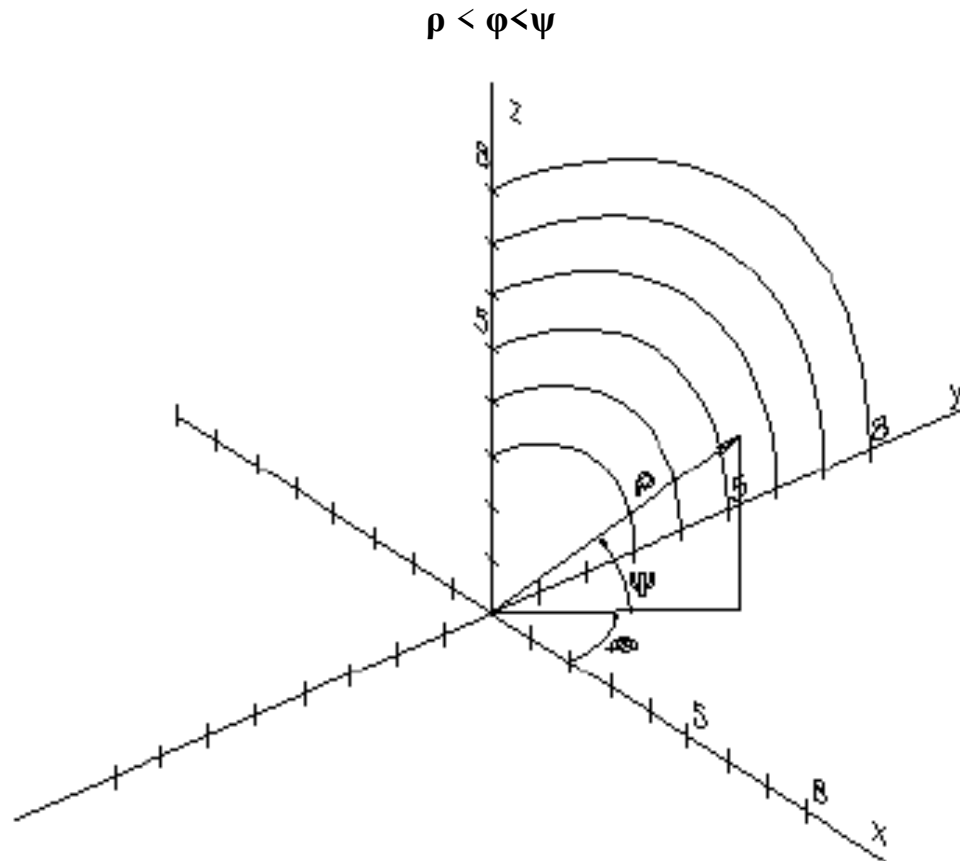


Рисунок 8.3 – Визначення місцеположення точки в сферичних координатах

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

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

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

8.3 Задання положення точок в 3D-просторі

8.3.1 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.

8.3.2 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 креслення 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 кресленника, 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.

8.4 Середовище для просторових побудов

8.4.1 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.

8.4.2 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.

8.5 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 тверdotілі 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 9

СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ ТІЛ І ПОВЕРХОНЬ

Зміст теми:

- 9.1 Примітиви
 - 9.1.1 Ящик, сфера, циліндр, конус, клин, тор
 - 9.1.2 Створення об'єктів видавлюванням (екструзією) та обертанням
 - 9.1.2.1 Підготовчі операції для створення тіл видавлювання та обертання
 - 9.1.2.2 Тіла видавлювання
 - 9.1.2.3 Тіла обертання
- 9.2 Об'єкти складної форми
 - 9.2.1 Об'єднання об'єктів
 - 9.2.2 Віднімання об'єктів
 - 9.2.3 Перетин об'єктів
 - 9.2.4 Взаємодія об'єктів
- 9.3 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).

9.1 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).

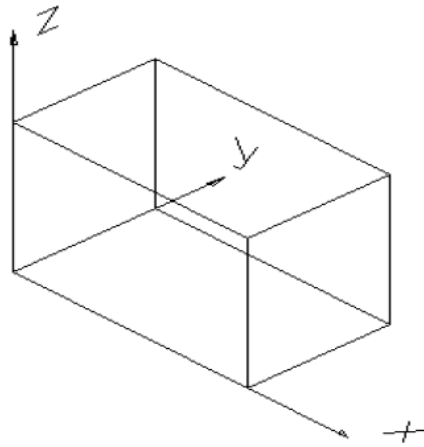
При створенні тривимірних твердотілих об'єктів зручно використовувати **Solids**.

9.1.1 Ящик, сфера, циліндр, конус, клин, тор

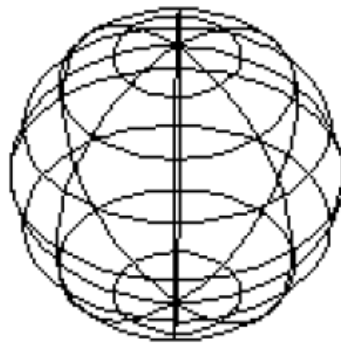
Команда «**Ящик**» створює прямокутний паралелепіпед. Команда має кілька опцій:

- 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.

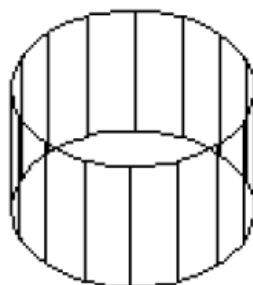
Основа ящика завжди викреслюється паралельно площині ХУ поточної СКК.



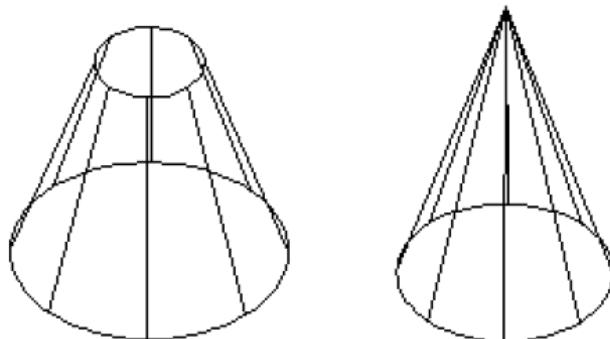
При створенні об'єкта «Сфера» використовуються два параметри: точка центру сфери та її радіус, або діаметр. При формуванні шару його паралелі проходять паралельно поточному положенню площини ХУ.



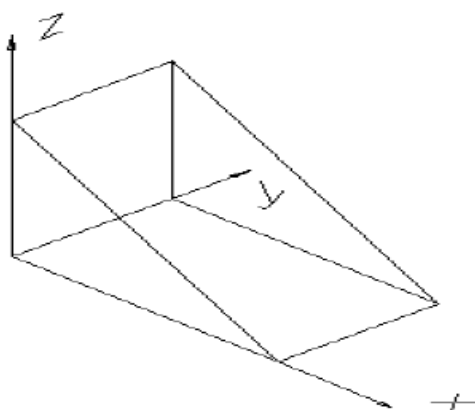
Команда «Циліндр» застосовується для побудови циліндрів, які в основі мають коло або еліпс. Використовуючи режим вводу центру верхньої основи, можливо створити похилий циліндр. При побудові циліндра, використовуються параметри: центр основи, радіус або діаметр циліндра, а також точка – центр другої основи.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



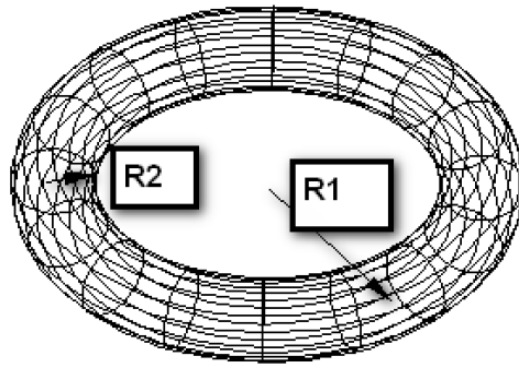
«**Конус**» – це тверdotілий об'єкт, основою якого може бути коло або еліпс. Висоту конуса можливо вводити безпосередньо вказавши її значення або координати верхівки.



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.



9.1.2 Створення об'єктів видавлюванням (екструзією) та обертанням

9.1.2.1 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 кресленика, 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 **РасчлениТЬ**, область розпадеться на відрізки та дуги.

9.1.2.2 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)**».

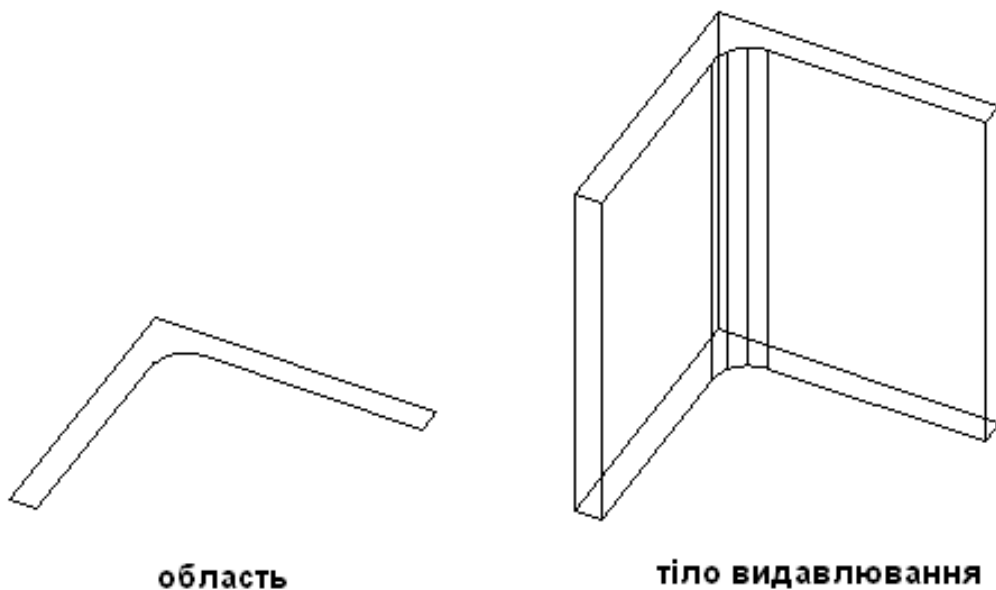
Видавлювання об'єктів виконується впродовж осі Z. Задання додатного значення величини видавлювання призводить до видавлювання об'єкта впродовж додатного напрямку осі Z відносно поточної системи координат.

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:

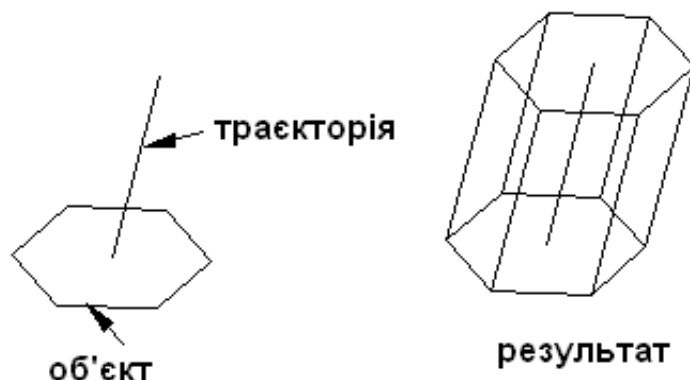


При видавлюванні об'єктів можна задати будь-який з таких параметрів:

- 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:



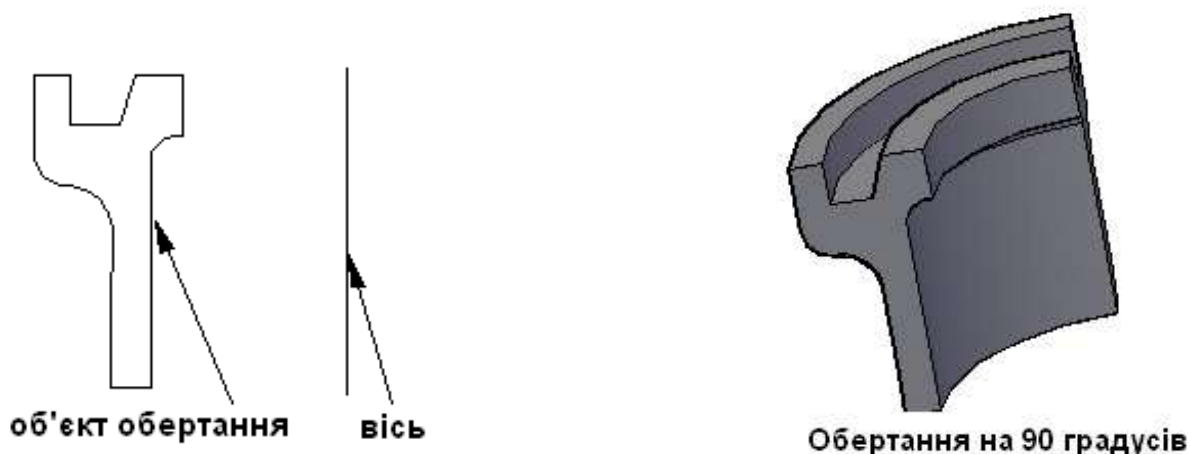
9.1.2.3 Тіла обертання

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° . Наприклад:

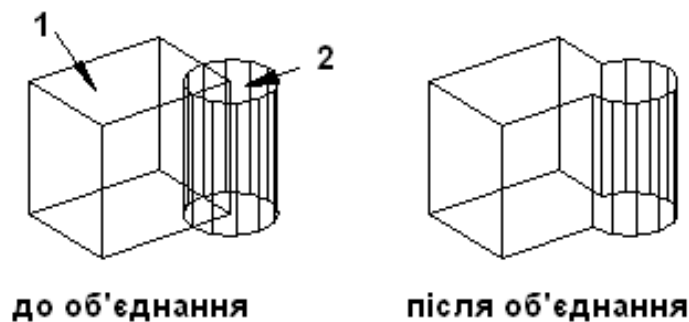


9.2 Об'єкти складної форми

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.

9.2.1 Об'єднання об'єктів

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



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

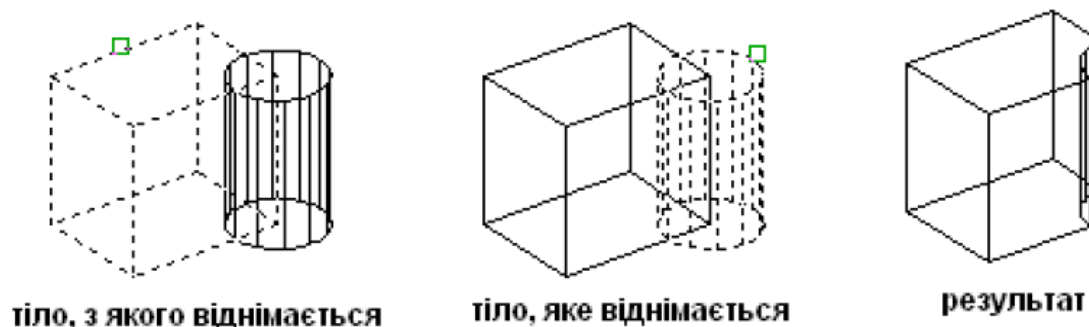
Для об'єднання областей застосовується та ж команда, що й для тіл. Однак, якщо області не належать одній площині XY, об'єднання не відбудеться.

9.2.2 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'єма, 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.

9.2.3 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)**».

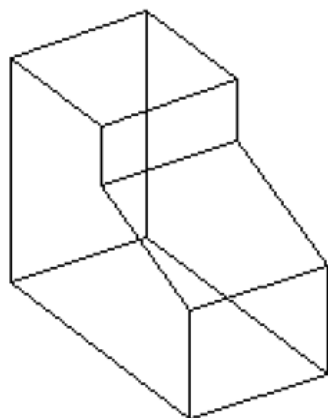
9.2.4 Взаємодія об'єктів

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.

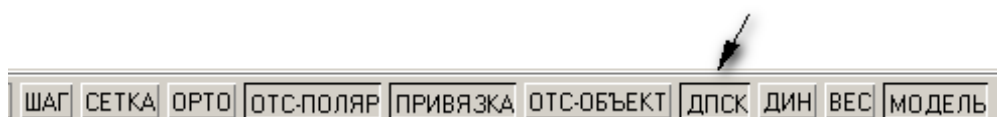
9.3 Використання динамічної СКК

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.

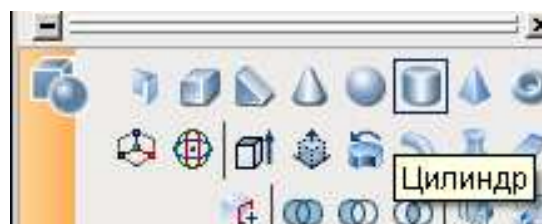
Продемонструємо використання динамічної СКК на прикладі побудови циліндра поверх розташованої під кутом грані моделі тіла як показано на рисунку.



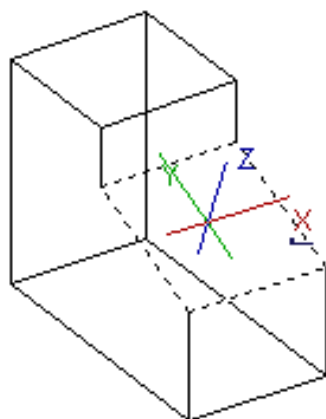
Активуємо функцію динамічної СКК за допомогою клавіші F6, або кнопкою ДПСК у рядку стану.



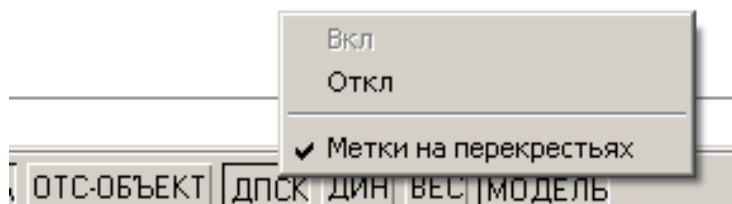
Виконаємо команду побудови циліндра



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

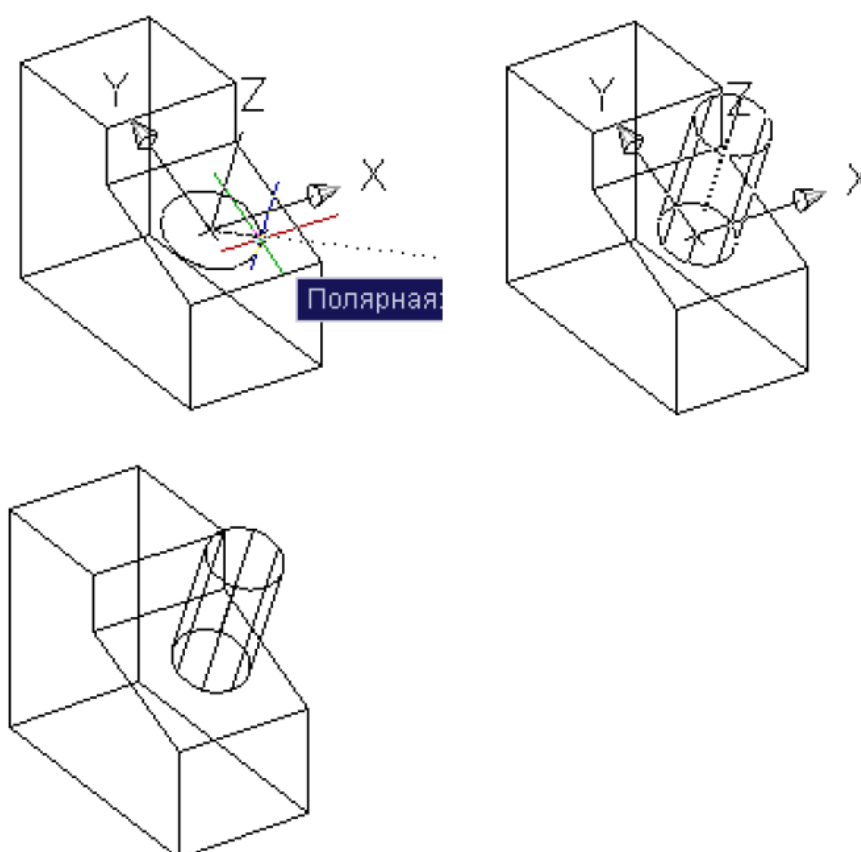


Для відображення міток XYZ на осях можна скористатися контекстним меню на кнопці ДПСК у рядку стану і вибрати команду «**Метки на перекрестьях**».



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 10

МОДИФІКАЦІЯ ТВЕРДИХ ТІЛ

Зміст теми:

- 10.1 Модифікація тіл шляхом редагування їх граней та ребер
 - 10.1.1 Редагування граней
 - 10.1.1.1 Видавлювання граней
 - 10.1.1.2 Перенесення граней
 - 10.1.1.3 Зсув граней
 - 10.1.1.4 Видалення граней
 - 10.1.1.5 Поворот граней
 - 10.1.1.6 Зведення грані на конус
 - 10.1.1.7 Копіювання граней
 - 10.1.1.8 Зміна кольору грані
 - 10.2.2 Редагування ребер
 - 10.2.2.1 Копіювання ребер
 - 10.2.2.2 Зміна кольору ребра
- 10.2 Редагування тіл в цілому
 - 10.2.1 Нанесення клейма іншим об'єктом
 - 10.2.2 Очистка тіл
 - 10.2.3 Розділення тіл
 - 10.2.4 Створення оболонки тіла
- 10.3 Створення розтинів та перерізів твердотілих об'єктів
 - 10.3.1 Створення розтинів тіл
 - 10.3.2 Створення перерізів

10.1 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.

10.1.1 Редагування граней

10.1.1.1 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 запитами команди **«Выдавить»** для створення тіл.

10.1.1.2 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.

10.1.1.3 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.

10.1.1.4 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.

10.1.1.5 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.

10.1.1.6 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.

10.1.1.7 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.

10.1.1.8 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.

10.1.2 Редагування ребер

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

10.1.2.1 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.

10.1.2.2 Зміна кольору ребра

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

10.2 Редагування тіл в цілому

10.2.1 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.

10.2.2 Очистка тіл

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

10.2.3 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)**».

10.2.4 Створення оболонки тіла

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

Застосовуючи опцію «**Оболочка**», 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.

10.3 Створення розтинів та перерізів твердотілих об'єктів

10.3.1 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;
- **Зось (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.

10.3.2 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 11

КОМАНДИ РЕДАГУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В 3D МОДЕЛЮВАННІ

Зміст теми:

- 11.1 «Стереть»
- 11.2 «Копировать»
- 11.3 «Зеркало»
- 11.4 «Подобие»
- 11.5 «Массив»
- 11.6 «Перенести»
- 11.7 «Повернуть»
- 11.8 «Масштаб»
- 11.9 «Растянуть»
- 11.10 «Увеличить»
- 11.11 «Обрезать»
- 11.12 «Удлинить»
- 11.13 «Разорвать»
- 11.14 «Фаска»
- 11.15 «Сопряжение»
- 11.16 «Расчленить»
- 11.17 «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.

11.1 «Стереть»

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

11.2 «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.

11.3 «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.

11.4 «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)**.

11.5 «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.

11.6 «Перенести»

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

11.7 «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, Уось, 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, Уось, Zось** 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.

11.8 «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.

11.9 «Растянуть»

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

11.10 «Увеличить»

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

11.11 «Обрезать»

Команда «**Обрезать (trim)**» застосовується тільки до двовимірних об'єктів.

При обранні опції «**Проекция**» зі списком підопцій можливо працювати у просторі.

11.12 «Удлинить»

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

11.13 «Разорвать»

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

11.14 «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.

11.15 «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.

11.16 «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.

11.17 «Выровняют»

Команда «Выровняют (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'єктну 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 «Выворняют (align)» в 3D просторі?

ТЕМА 12

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ КРЕСЛЕНИКІВ В AUTOCAD 3D

Зміст теми:

- 12.1 Тривимірні полілінії
- 12.2 Тонування
- 12.3 Грані й багатокутні мережі
- 12.4 Області

12.1 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 (ПОЛРЕД)**», 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])»

12.2 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 12.1). Ці кнопки є опціями команди «**SHADEMODE (РЕЖИМРАСКР)**».



Рисунок 12.1 - 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 12.2).

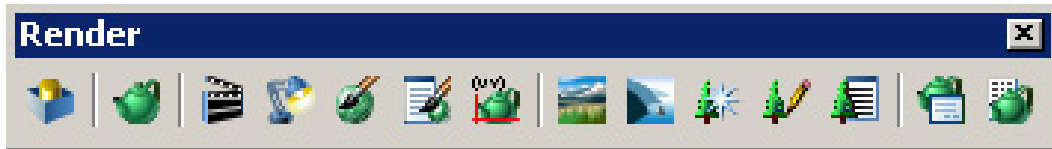
















Рисунок 12.2 – Панель інструментів *Render*

Ця панель має наступні піктограми:


-  — 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 «LSEEDIT (ЛАНДРЕД)»);
-  — виконання роботи з бібліотекою елементів ландшафту (команда «LSLIB (ЛАНДБИБ)»);
-  — завдання режимів тонування (команда «RPREF (РЕЖИМТОН)»);


-  — виведення статистичних даних про тонування (команда «STATS (СТАТ)»).

12.3 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 видавленій 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**». На екрані з'явиться діалогове вікно «**3D Objects (3D объекты)**» (Рисунок 12.3).

У цьому вікні доступні 9 об'єктів «**(Box3d (3D 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.

В панелі інструментів «**Surfaces (Поверхности)**» (Рисунок 12.4) 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 (двовимі-

рим) 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):»

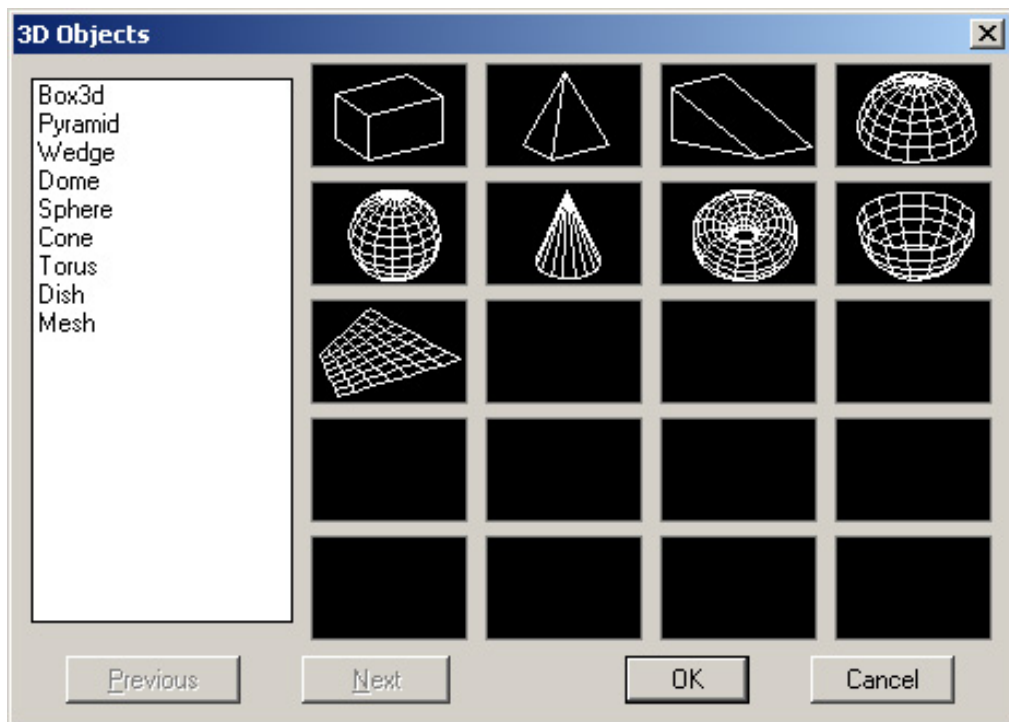


Рисунок 12.3 – Діалогове вікно *3D Objects*



Рисунок 12.4 – Панель інструментів *Surfaces*

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 перевернутою. 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 12.5 наведено приклад ящика, повернутого на -25° 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).

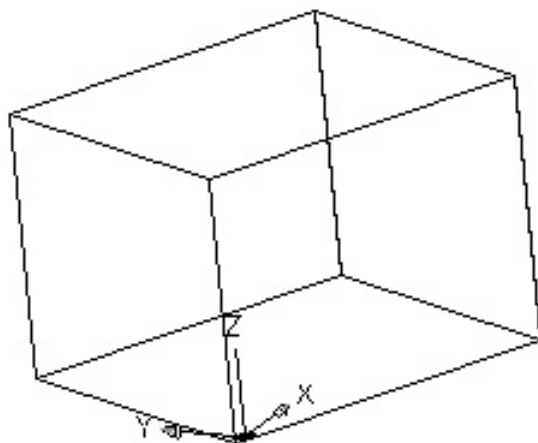



Рисунок 12.5 – Побудова стандартної мережі у формі ящика

12.4 Области

Область - це двовимірний об'єкт, який обмежений замкнутим контуром і має внутрішність. В області можуть бути присутніми отвори. Области 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 12.6 показані приклади трьох контурів, які можуть бути перетворені у області. У той же час чотири відрізки у правій частині графічного екрана не можуть бути перетворені у область, так як не утворюють єдиного замкнутого контуру (їх потрібно попередньо обрізати).

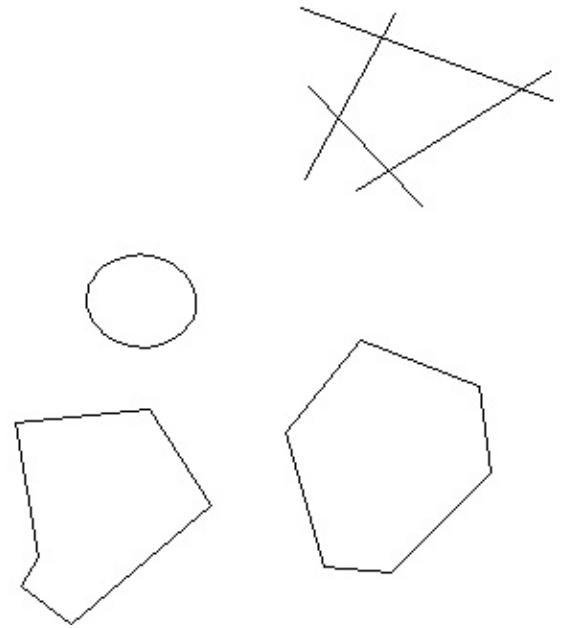



Рисунок 12.6 – Приклад трьох областей

Над областями можливі операції об'єднання, віднімання і перетинання. Кнопки цих операцій є першими трьома кнопками у панелі інструментів «**Solids Editing** (Редактирование тел)» (Рисунок 12.7), оскільки такі ж операції дозволяються над тілами.



Рисунок 12.7 – Панель інструментів *Solids Editing*

На рисунку 12.8 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)».

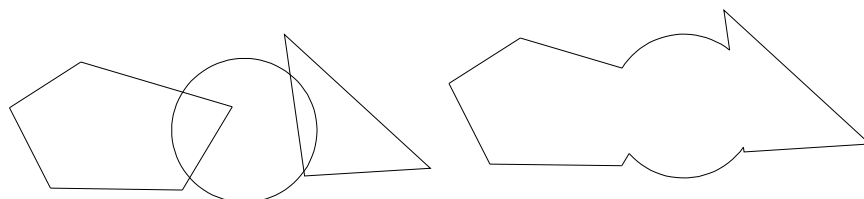


Рисунок 12.8 – Об'єднання областей

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

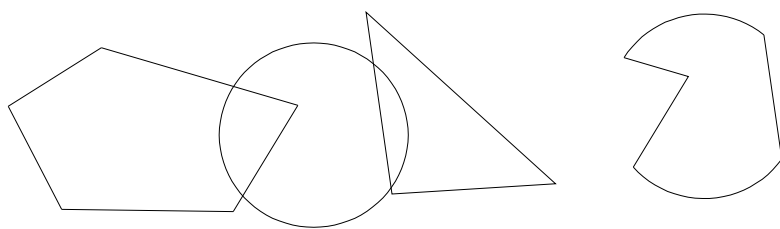



Рисунок 12.9 – Віднімання областей

вирізи або якщо об'єднуються непересічні об'єкти). На рисунку 12.9 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 12.10 наведено приклад перетину трьох областей. Для операції перетину використовується команда «INTERSECT (ПЕРЕСЕЧЕНИЕ)» і відповідна їй кнопка панелі інструментів «**Solids Editing** Редактирование тел)».

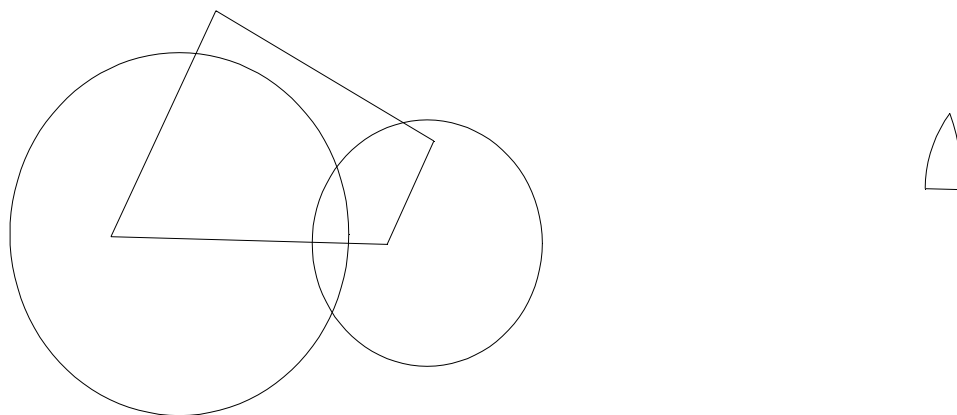


Рисунок 12.10 – Перетинання областей

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 тривимірна полілінія 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 13

АВТОМАТИЧНЕ СТВОРЕННЯ ЕКРАНІВ ВИДІВ ТА ОРТОГОНАЛЬНИХ ПРОЄКЦІЙ

Зміст теми:

- 13.1 Створення екранів видів командою «Т-вид»
 - 13.1.1 Призначення команди «Т-вид»
 - 13.1.2 Створення першого виду
 - 13.1.3 Створення ортогонального виду
 - 13.1.4 Створення додаткових видів
 - 13.1.5 Створення виду для побудови перетину
- 13.2 Створення проєкцій та перетинів командою «Т-рисование»
 - 13.2.1 Призначення команди «Т-рисование»
 - 13.2.2 Підготовчі операції
 - 13.2.3 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)».

13.1 Створення екранів видів командою «Т-вид»

13.1.1 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.

13.1.2 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*.

13.1.3 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 (Usc)**». 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*.

13.1.4 Створення додаткових видів

Опція «**Дополнительный (Auxiliary)**» дозволяє на основі виду «**Пск (Usc)**» 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.

13.1.5 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.

13.2 Створення проєкцій та перетинів командою «Т-рисование»

13.2.1 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-HID**», видимі лінії - на шарі «**Назва шару-VIS**», штриховка – на спеціальному шарі «**Назва шару-HAT**».

13.2.2 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.

13.2.3 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 «**Т-вид (solview)**», потрібно буде скрити їх видимість в інших екранах видів, на інших проєкціях.

Питання для самоконтролю

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

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 Тимченко А. А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів: Основи САПР та системного проектування складних об'єктів: Підручник за ред. В. І. Бикова. 2-ге вид. К. : Либідь, 2003. 272 с.
- 3 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.
- 4 Петренко О. Я. Проектування тривимірних об'єктів засобами AutoCAD. 2008: Навчальний посібник. К: ПІДО НУХТ, 2010. 64 с.
- 5 Саєнко С. Ю. Основи САПР : навч. посібник/ С. Ю. Саєнко, І. В. Нечипоренко – Х. : ХДУХТ, 2017. – 120 с.
- 6 Борисенко В. Д., Бідніченко О. Г., Котляр Д. В. Основи об'ємних зображень у середовищі проектування AutoCAD: навчальний посібник. Миколаїв : НУК, 2012. 336 с.
- 7 Герасименко А. Моделювання в AutoCAD 2021. Двовимірні і тривимірні побудови: : навчальний посібник. ДМК Пресс, 2021. 706 с.
- 8 Балашов С. В., Вернер І. В., Письменкова Т. О. Використання засобів AUTOCAD 2012 при створенні креслеників за 3d моделями: методичні рекомендації для студ. вищ. навч. закл. Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2015. 59 с.
- 9 Ли, К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). Спб.: Питер, 2004. - 560 с.
- 10 Полещук Н. Н. Самоучитель AutoCAD 2014. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 464 с.

Навчальне видання

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«СИСТЕМИ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ В ГАЛУЗІ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти
за спеціальністю

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(Електронне видання)

Укладач:

Людмила Вікторівна Карпюк

Оригінал-макет Л. В. Карпюк

Підписано до друку __. __. 2025.

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