

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

"Основи САПР в автомобілебудуванні"

для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
("Колісні та гусеничні транспортні засоби"),
усіх форм навчання

Частина 1 - змістовий модуль 1.

Принципи автоматизованого проектування.
Життєвий цикл виробу. Математичне, програмне
та інформаційне забезпечення САПР.

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні" для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби") усіх форм навчання. Частина 1 - змістовий модуль 1. Принципи автоматизованого проектування. Життєвий цикл виробу. Математичне, програмне та інформаційне забезпечення САПР / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 82 с.

Укладачі: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;
О.В. Дударенко, доцент, канд.техн.наук;
А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук;
А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Рецензенти: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук;
С.М. Турпак, професор, д-р.техн.наук

Відповідальний за випуск: А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук

Затверджено
на засіданні кафедри «Автомобілі»
Протокол № 8
від « 22 » лютого 2019.

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 72
від « 15 » березня 2019.

ЗМІСТ

Частина 1

Вступ	4
Тематичний план лекційних занять	6
Лекція № 1. Вступ до курсу "Основи САПР в автомобілебудуванні"	8
Лекція № 2. Принципи автоматизованого проектування	24
Лекція № 3. CALS-технології - поняття про життєвий цикл виробу	35
Лекція № 4. Математичне забезпечення САПР	49
Лекція № 5. Програмне та інформаційне забезпечення САПР	68
Рекомендована література	81
Основна	81
Додаткова	81
Інформаційні ресурси	82

Частина 2

Вступ	86
Тематичний план лекційних занять	88
Лекція № 6. Лінгвістичне та технічне забезпечення САПР	90
Лекція № 7. Інтеграція CAD і CAM систем	107
Лекція № 8. Числове програмне управління	119
Лекція № 9. Швидке виготовлення прототипів	134
Лекція № 10. Віртуальна інженерія	144
Рекомендована література	163
Основна	163
Додаткова	163
Інформаційні ресурси	164

ВСТУП

Дисципліна "Основи САПР в автомобілебудуванні" має визначальне значення у вирішенні задачі підвищення якості й ефективності праці інженера-конструктора на основі застосування методології і технічних засобів автоматизованого проектування.

Автоматизація проектування займає особливе місце серед інформаційних технологій. По-перше, автоматизація проектування - синтетична дисципліна, її складовими частинами є багато інших сучасних інформаційних технологій.

Так, технічне забезпечення систем автоматизованого проектування (САПР) засноване на використанні обчислювальних мереж і телекомунікаційних технологій. У САПР використовуються персональні комп'ютери й робочі станції, є приклади застосування мейнфреймів.

Математичне забезпечення САПР відрізняється різноманітністю використовуваних методів обчислювальної математики, статистики, математичного програмування, дискретної математики, штучного інтелекту.

Програмні комплекси САПР відносяться до числа найбільш складних сучасних програмних систем, заснованих на операційних системах Unix, Windows, мовах програмування C, C++, Java та інших, сучасних CASE-Технологіях, реляційних і об'єктно-орієнтованих системах управління базами даних (СУБД), стандартах відкритих систем і обміну даними в комп'ютерних середовищах.

По-друге, знання основ автоматизації проектування та вміння працювати із засобами САПР потрібно практично будь-якому інженеру-розробнику. Комп'ютерами насичені проектні підрозділи, конструкторські бюро й офіси.

Робота конструктора за звичайним кульманом, розрахунки за допомогою логарифмічної лінійки, або оформлення звіту на друкарській машинці, сьогодні вже стали анахронізмом і назавжди відійшли в минуле.

Підприємства, що ведуть розробки без САПР, або лише з малим ступенем їх використання - виявляються неконкурентоспроможними як внаслідок більших матеріальних і тимчасових витрат на проектування, так і через невисоку якість самих проектів.

Після закінчення вивчення дисципліни "Основи САПР в авто-

мобілебудуванні", студент повинен **знати:**

- склад, структуру й основні принципи побудови САПР;
- методику розробки моделей об'єктів проектування;
- способи представлення графічної інформації на ЕОМ;
- методологію вирішення задач оптимізації на ЕОМ.

вміти:

- спілкуватися з машиною в режимі діалогу;
- користуватися наявними програмними засобами;
- проводити алгоритмізацію розрахунків основних агрегатів автомобіля;
- аналізувати отриману інформацію.

володіти:

- навичками роботи в системах автоматизованого проектування, оформлення й представлення результатів роботи;
- демонструвати здатність і готовність застосовувати отримані знання на практиці.

Матеріал, викладений у даному конспекті лекцій, надає студентам необхідну інформацію з кожного з розділів навчальної програми курсу "Основи САПР в автомобілебудуванні", і допоможе студентам досягти необхідного рівня знань, практичних навичок та умінь.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Загальний об'єм курсу становить 20 годин і складається з двох змістових модулів. Даний конспект лекцій дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні" складається з двох частин, і розроблений відповідно до:

Робоча програма з дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні" для студентів за напрямом підготовки 6.05050305 – "Машинобудування", спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування (Колісні та гусеничні транспортні засоби), усіх форм навчання. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 19 с.

Нижче наведено назву першого змістового модуля дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні", найменування тем лекційних занять в модулі і вказано кількість годин аудиторних занять, для студентів денної форми навчання, окремо для кожної лекції.

Для кожної теми лекції вказано перелік питань які треба розглянути під час даної лекції. Слід враховувати те, що в даному конспекті лекцій приведено лише стислий огляд питань кожної лекції. Крім того навчальним планом дисципліни передбачено активну самостійну роботу студентів за вказаними темами курсу.

Вкінці кожної лекції наведено перелік питань для самоперевірки. Для самостійної роботи студенту слід користуватися рекомендованою літературою для вивчення дисципліни, перелік якої наведено в кінці даного конспекту лекцій, а також використовувати розроблені методичні вказівки:

Методичні вказівки з вивчення дисципліни "Основи САПР в автомобілебудуванні" та виконання контрольних завдань, для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби"), усіх форм навчання. / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 62 с.

Змістовий модуль 1. Принципи автоматизованого проектування. Життєвий цикл виробу. Математичне, програмне та інформаційне забезпечення САПР.

Тема 1. Вступ до курсу "Основи САПР в автомобілебудуванні" (2 год.)

Значення автоматизованого проектування. Основні відомості про автоматизоване проектування. Структура САПР. Основні принципи створення САПР. Спеціалізовані САПР. Види і типи САПР. Вимоги до САПР. Системи САПР використовувані в автомобілебудуванні.

Тема 2. Принципи автоматизованого проектування (2 год.)

Принципи і мета створення САПР. Процес і завдання проектування. Аспекти описів проєктованих об'єктів. Етапи і режими проєктування в САПР. Інтелектуальні системи автоматизованого проектування: поняття і принципи їх створення, штучний інтелект.

Тема 3. CALS-технології – поняття про життєвий цикл виробу (2 год.)

Виникнення концепції CALS та її еволюція. Стандарти CALS-технологій. Структура інтегрованого інформаційного середовища. Концепція впровадження CALS-технологій. Основа CALS-технологій. Життєвий цикл промислових виробів.

Тема 4. Математичне забезпечення САПР (2 год.)

Математичні моделі. Вимоги до математичних моделей. Класифікація математичних моделей. Методи одержання математичних моделей. Перетворення математичних моделей у процесі одержання робочих програм аналізу. Використання методу кінцевих елементів у САПР.

Тема 5. Програмне та інформаційне забезпечення САПР (2 год.)

Програмне забезпечення САПР. Властивості програмного забезпечення (ПЗ) САПР. Структура ПЗ САПР. Загальносистемне ПЗ. Прикладне ПЗ. Відкриті системи й об'єктно-орієнтований підхід. Класифікація банків даних. Користувачі банку даних і рівні доступу. Забезпечення захисту даних у базі. Особливості баз даних САПР.

ЛЕКЦІЯ № 1. ВСТУП ДО КУРСУ "ОСНОВИ САПР В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ"

План лекції. Значення і мета автоматизованого проектування. Основні відомості про автоматизоване проектування. Структура САПР. Основні принципи створення САПР. Спеціалізовані САПР. Види і типи САПР. Вимоги до САПР. Системи САПР використовувані в автомобілебудуванні.

Література: [1], с.3-7; [2], с.13-33; [3], с.6-24; [4], с.37-53; [5], с.12-30.

Вимоги, пропоновані до якості проектів, термінам їх виконання, виявляються усе більш жорсткими в міру збільшення складності проєктованих об'єктів і підвищення важливості виконуваних ними функцій. Задовольнити ці вимоги за допомогою простого зростання чисельності проєктувальників не можна, тому що можливість паралельного проведення проєктних робіт обмежена, і чисельність інженерно-технічних працівників у проєктних організаціях не може бути помітно збільшена. Розв'язати проблему можна на основі автоматизації проєктування - широкого застосування обчислювальної техніки.

Метою автоматизації проєктування – є підвищення якості, зниження матеріальних витрат, скорочення термінів проєктування й ліквідація тенденції до росту числа інженерно-технічних працівників, зайнятих проєктуванням, підвищення продуктивності їх праці.

На думку провідних світових аналітиків, основними факторами успіху в сучасному промисловому виробництві є: скорочення строку виходу продукції на ринок, зниження її собівартості й підвищення якості. До числа найбільш ефективних технологій, що дозволяють виконати ці вимоги, належать так звані CAD/CAM/CAE - системи (системи автоматизованого проєктування, технологічної підготовки виробництва й інженерного аналізу).

Свій початок термін **САПР** (Система Автоматизованого Проєктування) бере в 1970-х роках. САПР або CAD (Computer-Aided Design) звичайно використовуються разом із системами автоматизації інженерних розрахунків і аналізу CAE (Computer-aided engineering). Дані з CAD-систем передаються в CAM (Computer-aided manufacturing) - си-

стему автоматизованої розробки програм обробки деталей для верстатів з ЧПУ або ГАВС (Гнучких Автоматизованих Виробничих Систем).

Під терміном **"САПР для машинобудування"** у нашій країні звичайно мають на увазі пакети, що виконують функції CAD/ CAM/ CAE/ PDM, тобто автоматизованого проектування, підготовки виробництва й конструювання, а також керування інженерними даними.

Перші CAD-системи з'явилися ще на зорі обчислювальної техніки - в 60-х роках. Саме тоді в компанії General Motors була розроблена інтерактивна графічна система підготовки виробництва, а в 1971-м її творець - доктор Патрік Хенретті (його називають батьком САПР) - заснував компанію Manufacturing and Consulting Services (MCS), що виявила величезний вплив на розвиток цієї галузі. На думку аналітиків, ідеї MCS склали основу майже 70 % сучасних САПР.

На початковому етапі користувачі CAD/CAM/CAE-систем працювали на графічних терміналах, приєднаних до мейнфреймів виробництва компаній IBM і Control Data, або ж міні-EOM PDP/11 (від Digital Equipment Corporation) і Nova (виробництва Data General).

Більшість таких систем пропонували фірми, що продавали одночасно апаратні й програмні засоби (у ті роки лідерами розглянутого ринку минулого компанії Applicon, Auto-Trol Technology, Calma, Computervision і Intergraph). У мейнфреймів того часу був ряд істотних недоліків.

Наприклад, при поділі системних ресурсів занадто більшим чином користувачів, навантаження на центральний процесор збільшувалася настільки, що працювати в інтерактивному режимі ставало важко. Але в той час користувачам CAD/ CAM/ CAE-систем нічого, крім громіздких комп'ютерних систем з поділом ресурсів (по встановлених пріоритетах), запропонувати було нема чого, тому що мікропроцесори були ще досить недосконалими.

На початку 80-х років, коли обчислювальна потужність комп'ютерів значно виросла, на сцену вийшли перші САМ-пакети, що дозволяли частково автоматизувати процес виробництва за допомогою програм для верстатів з ЧПУ, і САЕ-продукти, призначені для аналізу складних конструкцій.

Таким чином, до середини 80-х системи САПР для машинобудування знайшли форму, яка існує й зараз. Але найбільш бурхливий розвиток відбувався протягом 90-х років - на той час на поле вийшли нові гравці "середньої вагової категорії".

дження комп'ютеризації в умовах науково-технічного прогресу забезпечує ріст продуктивності праці в різних областях суспільного виробництва. Головна увага при цьому звертається на ті області, де ріст продуктивності праці до застосування ЕОМ проходив край повільно.

Це, у першу чергу, області, пов'язані з додатком розумової праці людини, тобто керування виробництвом, проектування й дослідження об'єктів і процесів. Якщо продуктивність праці в сфері виробництва з початку століття зросла в сотні раз, то в області проектування тільки в 1,5-2 рази. Це обумовлює більші строки проектування нових об'єктів, що не відповідає потребам розвитку економіки.

Очевидність того факту, що розвиток нової техніки в сучасних умовах уповільнюється не стільки відсутністю наукових досягнень і інженерних ідей, скільки строками й не завжди задовільною якістю їх реалізації при конструкторсько-технологічній розробці, ні в кого не викликає сумніву. Одним з напрямків розв'язку цієї проблеми є створення й розвиток **систем автоматизованого проектування (САПР).**

Основні відомості про автоматизоване проектування.

Якість проектування в значній мірі визначає темпи технічного прогресу. Прогрес виробництва в сучасних умовах зв'язують із досягненнями в області автоматизації виробництва. Оскільки проектування й розробка технології є шаблем виробництва (логічним рівнем), то прогрес на цьому шаблі також повинен визначатися автоматизацією.

При неавтоматизованому проектуванні результати багато в чому визначаються інженерною підготовкою конструкторів, їх виробничим досвідом, професійною інтуїцією та іншими факторами.

Автоматизоване проектування дозволяє значно скоротити суб'єктивізм при прийнятті розв'язків, підвищити точність розрахунків, вибрати найкращі варіанти для реалізації на основі строгого математичного аналізу всіх або більшості варіантів проекту з оцінкою технічних, технологічних і економічних характеристик виробництва й експлуатації проектованого об'єкта, значно підвищити якість конструкторської документації, суттєво скоротити строки проектування й передачі конструкторської документації у виробництво, ефективніше використовувати технологічне встаткування із програмним керуванням.

Автоматизація проектування сприяє більш повному використанню уніфікованих виробів як стандартних компонентів проектованого об'єкта. Застосування ЕОМ при проектуванні різних об'єктів із

часом перетерплює значні зміни.

З появою обчислювальної техніки був зроблений перехід від традиційних - "ручних" методів проектування, до реалізації окремих завдань проектування на ЕОМ, намітився новий системний підхід до організації процесу проектування на ЕОМ, що полягає в створенні великих програмних комплексів у вигляді пакетів програм (ПП) і САПР, орієнтованих на певний клас завдань.

Такі комплекси будуються по модульному принципі з універсальними інформаційними й керуючими зв'язками між модулями, при розв'язанні завдань даного класу використовуються єдині інформаційні масиви, організовані в банки даних.

Дамо формальне визначення САПР, що визначає її головні особливості: САПР - це людино-машинна система, що використовує сучасні математичні методи, засоби електронно-обчислювальної техніки й зв'язки, а також нові організаційні принципи проектування для знаходження й практичної реалізації найбільш ефективного проектного розв'язку існуючого об'єкта.

Структура САПР. САПР містить у собі наступні види забезпечення:

- технічне – пристрої обчислювальної й організаційної техніки, засоби передачі даних, вимірювальні та інші пристрої або їх комбінації;
- математичне - методи, моделі, алгоритми;
- програмне - документи з текстами програм, програми на машинних носіях і експлуатаційні документи;
- інформаційне - документи, що містять описи стандартних проектних процедур, типових проектних рішень та елементів, матеріалів та інші дані, а також файли й блоки даних на машинних носіях із записом зазначених документів;
- методичне - документи, у яких відбиті состав, правила відбору й експлуатації засобів автоматизації проектування;
- лінгвістичне - мови проектування, термінологія;
- організаційне - положення, інструкції, накази, штатні розклади, кваліфікаційні вимоги та інші документи, що регламентують організаційну структуру підрозділів, їх взаємодію з комплексом засобів автоматизації проектування.

Основні принципи створення САПР.

Створенню системи автоматизованого проектування об'єкта, як правило, передують системне обстеження об'єкта проектування й використання в інженерній практиці неавтоматизованих методів і прийомів проектування, технічної документації, розроблювальної в процесі проектування.

У результаті обстеження визначаються необхідність і економічна ефективність створення автоматизованої системи. При цьому враховуються обсяг проектно-конструкторських робіт, їх періодичність, загальні витрати інженерної праці, можливість створення адекватного математичного опису й оптимізаційних процедур, необхідність підвищення техніко-економічних показників тощо.

Спеціалізовані САПР.

При неавтоматизованому проектуванні всі процеси виконуються людиною, при автоматичному - ЕОМ. Особливістю автоматизованого проектування є те, що проектування ведеться в інтерактивному режимі, при цьому процеси синтезу при проектуванні переважно виконуються людиною, процеси аналізу - ЕОМ. У різноманітні за рівнем організації, складності й класу розв'язуваних завдань САПР ця особливість зберігається. У цей час розрізняють наступні системи автоматизованого проектування:

Унікальні системи міжгалузевого характеру, створювані для розв'язку найбільших народногосподарських завдань. Такі системи, як правило, мають короткий "життєвий" цикл, обумовлений часом проектування унікального виробу.

Великі системи галузевого значення. Найбільш характерними відмінними рисами таких САПР є:

- можливість розв'язку певного кола завдань, що виникають при проектно-конструкторських роботах із заданим класом об'єктів;
- наявність галузевої бази даних, створення якої, як правило, виявляється можливим на основі спеціалізованого банку даних;
- наявність єдиної проблемно-орієнтованої мови проектування, доступного відповідним до фахівців (проектувальникам, конструкторам) кожного підприємства галузі;
- відпрацьовування єдиної галузевої автоматизованої техноло-

гії прийняття проектних розв'язків на основі САПР.

Розробка САПР систем галузевого значення носить виражену галузеву специфіку, що відкриває можливість створення й розвитку інваріантного ядра галузевої САПР. Це ядро можна представити як базову систему автоматизованого проектування (БаСАПР), що дозволяє генерувати САПР конкретних об'єктів.

У цей час знаходять поширення **спеціалізовані інтегровані системи автоматизованого проектування**, у яких передбачається повна автоматизація всіх розрахункових і креслярських робіт, а також технологічної підготовки виробництва (проектування технологічного оснащення, визначення оптимальних маршрутів, вибору встаткування й інструмента й ін.). Крім того, у них передбачається повна або часткова автоматизація виготовлення всієї необхідної документації (креслень, таблиць, текстів і ін.).

Види САПР.

Історично ринок САПР розділився на кілька сегментів.

Важкі системи - повнофункціональні системи автоматизації проектно-конструкторської і технологічної підготовки виробництва (в англійській термінології CAD/CAM), призначені для креслення, двовимірного й тривимірного геометричного, твердотілого й поверхневого моделювання (включаючи моделювання складних поверхонь); поелементного проектування й проектування з комплексним ув'язуванням параметрів.

Вони включають вбудовані підсистеми інженерного аналізу (CAE), підготовки програм для верстатів з ЧПУ та багато інших спеціалізованих засобів розробки (рис. 1.2). З їхньою допомогою можна створювати дуже складні й великі складання із десятків тисяч деталей.

Крім того, вони інтегровані з підсистемою керування інженерними даними (PDM), здатної охопити ціле підприємство, включаючи постачальників і партнерів, а також підтримувати роботу з даними, що надходять із інших CAD/CAM.

Вартість важких систем варіюється від \$7000 до \$20 000 і більше за одне робоче місце (залежно від кількості й типу необхідних функцій). На частку постачальників таких систем доводиться більша частина обсягу ринку САПР.

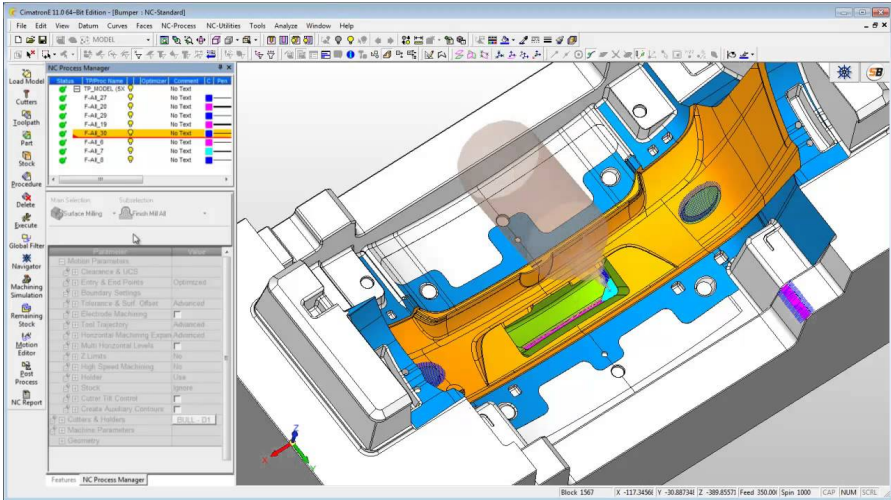


Рисунок 1.2 – Розробка оснащення в системі Cimatron (Ізраїль)

Системи середнього класу - надійні й багатофункціональні продукти, які містять багато компонентів своїх важких побратимів, за винятком засобів моделювання складних поверхонь, вбудованих підсистем інженерного аналізу (CAE), підготовки виробництва (CAM) і спеціалізованих додатків - багато яких із них можна купити в незалежних розроблювачів.

"Середняки" підтримують складання, що включають від сотні до декількох тисяч деталей, і мають вбудовану підсистему керування інженерними даними (PDM), яка, як правило, може працювати тільки з "рідними" даними й має більш обмежені можливості, ніж PDM-продукти масштабу підприємства. Такі системи коштують від \$5000 до \$7000 за одне робоче місце (залежно від набору функцій).

Легкі системи - призначені для креслення, а також для двовимірної й тривимірної геометричного каркасного моделювання. Звичайно вони не включають додатки й не мають вбудованих засобів керування інженерними даними.

З їхньою допомогою можна створювати невеликі складання й окремі деталі. Але з цього не виходить, що такі продукти мало поширені. Напроти, вони знаходять застосування на підприємствах самого різного масштабу. Нерідко компанії, що мають важкі й середні систе-

ми, використовують їх для креслярських робіт. Вартість таких САПР набагато нижче, ніж систем більш високого класу, - від \$1000 до \$4000 за робоче місце.

Персональні системи - самі "легкі" САПР, що включають тільки базові засоби креслення й двовимірною/тривимірною геометричного каркасного моделювання. Вони поставляються у вигляді коробкового продукту (без навчання) і, як правило, не здатні підтримувати проектування деталей у контексті складання.

Персональні системи коштують менше \$1000 і застосовуються архітекторами, дизайнерами, видавцями технічної літератури, індивідуальними користувачами й невеликими компаніями.

У сегменті важких САПР працюють лише ті постачальники, які пропонують багатофункціональні рішення, тісно інтегровані з PDM-системою масштабу підприємства, що підтримує складні функції, зокрема моделювання великих складань або створення цифрових макетів, що включає опис передових галузевих методик і спеціалізовані настроювання для конкретних галузей.

Крім того, у них входять додаткові підсистеми для контролю вихідних вимог, цифрового виробництва, керування проектами, візуалізації та інші засоби, що дозволяють створювати рішення, що охоплюють увесь життєвий цикл виробу. Важлива особливість важких систем - тісна інтеграція всіх підсистем, яка дає можливість організувати високопродуктивне проектне середовище.

У підсумку недавніх змін, зв'язаних зі злиттями й поглинаннями, важких систем залишилося всього три: NX компанії Siemens PLM Software, CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) французької фірми Dassault Systemes (рис. 1.3) яка просуває її разом з IBM і Pro/Engineer від PTC (Parametric Technology Corp.). Ці компанії - лідери в області САПР, а їх продукти займають особливе положення: на них доводиться лівова частина обсягу ринку в грошовому вираженні.

Головна особливість важких систем полягає в тому, що їх великі функціональні можливості, висока продуктивність і стабільність досягнуті в результаті тривалого розвитку. Усі вони далеко не молоді: CATIA з'явилася в 1981 р., Pro/Engineer - в 1988-м, а NX, хоча й вийшла недавно, є результатом злиття двох досить шанованих систем - Unigraphics і I-Deas, придбаних разом з компаніями Unigraphics і SDRC.



Рисунок 1.3 - Система CATIA французької фірми Dassault Systemes

Характерна риса постачальників важких САПР полягає в тому, що вони працюють у самих різних країнах світу, просуваючи продукти за допомогою прямих продажів і через партнерські мережі, що надають послуги впровадження й підтримки.

Інші гравці ринку САПР відстають від них з погляду функціонала, загальносвітового охопту й міцних зв'язків із замовниками із числа лідерів світової промисловості.

Незважаючи на те що важкі системи значно дорожче своїх більш "легких" побратимів (понад \$10 000 на одне робоче місце), витрати на їхнє придбання окупаються, особливо коли мова йде про складне виробництво, наприклад машинобудування, двигунобудування авіаційної й аерокосмічної промисловості. На думку аналітиків, цей сегмент ринку вже практично насичений і поділений між лідерами індустрії.

У цей час загально визнаним фактом є неможливість виготовлення складної наукомісткої продукції (кораблів, літаків, танків, різних видів промислового встаткування та ін.) без застосування CAD/CAM/ CAE-систем.

Типи САПР.

1. САПР двовимірного проектування - "2D-3D Легкі - Нижній рівень".

Ці САПР служать для виконання майже всіх робіт із двовимірними кресленнями та мають обмежений набір функцій по тривимірному моделюванню. За допомогою цих систем виконуються порядку 90 % усіх робіт із проектування. Хоча наявні обмеження роблять їх не завжди досить зручними. Область їх роботи - створення креслень окремих деталей і складань. Платою за зрослі можливості є ускладнення інтерфейсу й менша зручність у роботі. Характерні представники таких САПР – AutoCAD (рис. 1.4), CADdy, CADMECH Desktop, Mastercam, T-flexCAD, OmniCAD, Компас-Графік.

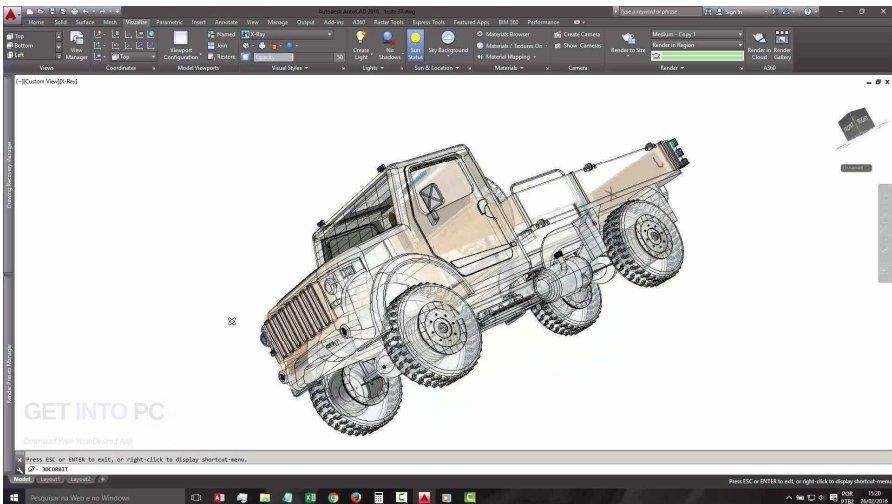


Рисунок 1.4 – AutoCAD приклад "легкої" САПР

2. САПР об'ємного моделювання "3D - Середній рівень"

По своїх можливостях вони повністю охоплюють САПР "легкого рівня", а також дозволяють працювати зі складаннями, по деяких

параметрах вони вже не уступають важким САПР, а в зручності роботи навіть перевершують. Обов'язковою умовою є наявність функції обміну даними (або інтеграції). Це не просто програми, а програмні комплекси, зокрема, Solidworks, Solidedge, Cimatron, Form-Z, Autodesk Inventor (рис. 1.5), CAD Solidmaster, Mechanical Desktop, Designspace.

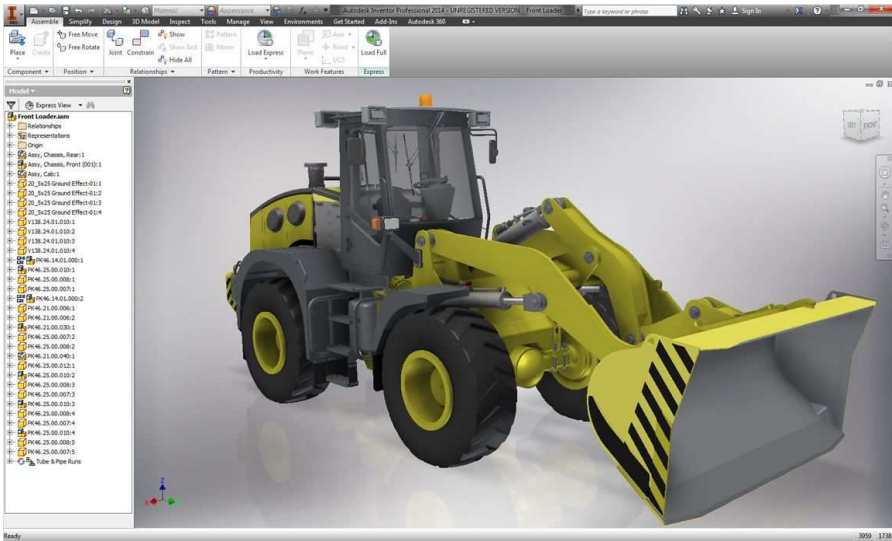


Рисунок 1.5 – Пакет тривимірного твердотільного й поверхневого параметричного проектування Autodesk Inventor компанії Autodesk

3. САПР об'ємного моделювання "3D Важкі - Верхній рівень"

Ці системи застосовуються для вирішення найбільш трудомістких завдань - моделювання поведінки складних механічних систем у реальному масштабі часу, оптимізуючих розрахунків з візуалізацією результатів, розрахунків температурних полів і теплообміну тощо.

Звичайно до складу системи входять як чисто графічні, так і модулі для проведення розрахунків і моделювання, постпроцесори для верстатів зі ЧПУ. На жаль, ці самі потужні САПР найбільш громіздкі й складні в роботі, а також мають значну вартість. Прикладами "важких" САПР можуть служити такі продукти, як ADAMS, ANSYS (рис. 1.6), CATIA, EUCLID3, Pro/ENGINEER, Unigraphics.

Приблизна вартість усіх САПР співвідноситься по рівнях у такий спосіб:

- нижній рівень: \$500-\$2000 за робоче місце - AutoCAD, AutoCAD LT, Компас;
- середній рівень: \$2000-\$20 000 - Inventor, Mechanical Desktop, Solidworks;
- верхній рівень: більше \$20 000 - Pro/ENGINEER (рис. 1.7), Unigraphics.

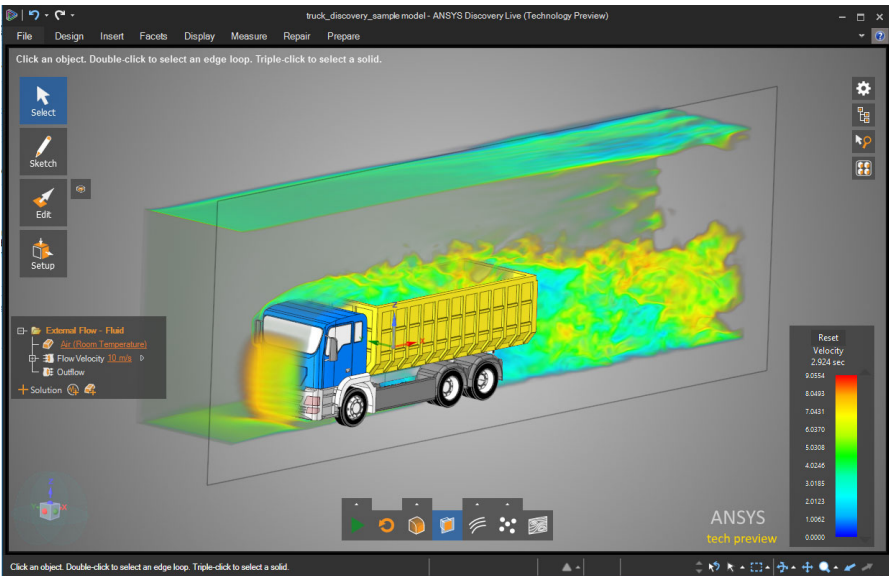


Рисунок 1.6 - Універсальна програмна система кінцево-елементного аналізу ANSYS

САПР "важкого" рівня не оптимальні для випуску й коректування конструкторської документації, яка як і раніше становить максимальну частку витрат на проектування виробу. На думку експертів, кількість робочих місць таких САПР повинна становити приблизно 5-10 % від загальної кількості робочих місць. Ця цифра підтверджується прикладами найбільш успішних впроваджень САПР на вітчизняних підприємствах, наприклад, у САПР ЦКБ МТ "Рубін" (Росія).

У цей час найпоширеніші наступні типи САПР для автоматизованого проектування в машинобудуванні:

- системи автоматизованого креслення CADD (Computer Aided Design and Drafting, "комп'ютерна допомога в розробці й проектуванні");
- системи автоматизованої побудови технологічних процесів CAM (Computer Aided Mechanical Process, "комп'ютерна допомога в механообробці");
- системи автоматизації інженерних розрахунків CAE (Computer Aided Engineering, "комп'ютерна допомога в інженерних розрахунках і тривимірному моделюванні" (у тому числі геометричному);
- системи САПР для підготовки даних для верстатів з ЧПУ (постпроцесори);
- спеціалізовані САПР (наприклад для проектування коробок передач);
- інтегровані системи, що включають у себе всі перераховані вище.

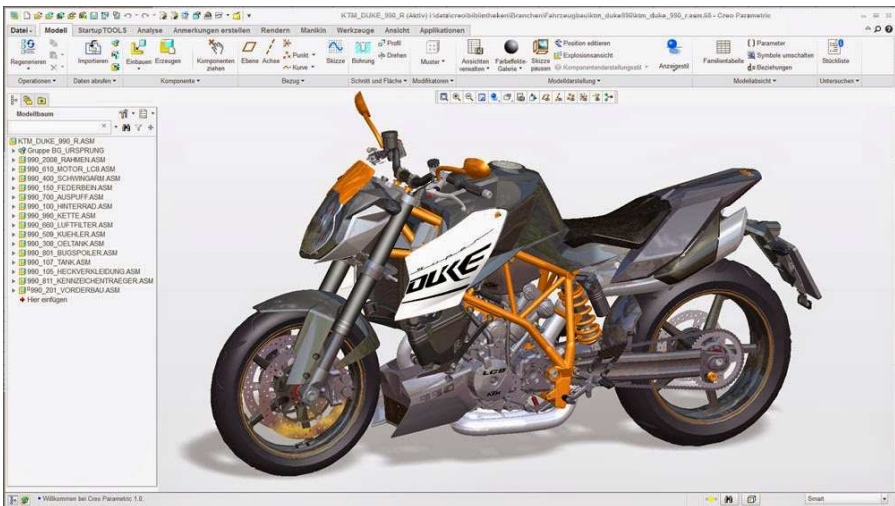


Рисунок 1.7 – Система PTC Creo Elements/Pro
(колишня назва Pro/ENGINEER)
компанії Parametric Technology Corporation (PTC)

Вимоги до САПР.

Залежно від області застосування вимоги до САПР сильно від-

різняються, але можна виділити основні:

- система повинна бути відкритою, тобто користувач повинен мати можливість набудувати й надбудувати систему залежно від своїх потреб. Наприклад, користувач може підключати свої програмні модулі, написані на мовах програмування високого рівня;
- система повинна працювати зі стандартними протоколами обміну й зберігання інформації. Обов'язкова підтримка ГОСТ, ДЕРЖСТАНДАРТ і ЄСКД (для конструкторських САПР). Украй бажана наявність функцій моделювання й параметричного проектування;
- бажано, щоб система функціонувала на різних апаратних і програмних платформах;
- системою повинна підтримуватися робота над проектом в багатокористувацькому режимі;
- необхідна інтеграція САПР у єдину систему електронного документообігу й архіву підприємства.

Системи САПР використовувані в автомобілебудуванні.

Характерні риси цієї індустрії впливають на використання САПР. Тут домінують порядку 20 провідних виробників (General Motors, Ford, Toyota, Daimler-Chrysler, Nissan, BMW, Renault та інші), які розробляють і випускають автомобілі за допомогою різних САПР.

Вони працюють із безліччю партнерів, організованих у багаторівневі мережі, починаючи з постачальників першого рівня, що розробляють і виробляють цілі автомобільні підсистеми, і закінчуючи постачальниками третього й четвертого рівнів, що випускають окремі компоненти.

Така структура приводить до того, що в створенні автомобіля бере участь безліч компаній, що застосовують різні САПР. Через це виникає необхідність у трансляції проектних даних, створених у різних системах. Індустрія САПР давно бореться із цією проблемою, але поки до кінця її не розв'язала.

Інша особливість даної галузі полягає в тому, що автомобілебудівні підприємства пред'являють дуже високі вимоги до функцій моделювання складних поверхонь. Ці функції передбачені тільки у важких САПР і спеціалізованих системах, таких, як ICЕМ. Щоб забезпечити всю необхідну функціональність, деякі з них навіть створюють

власні САПР, наприклад PDGS (Ford) і CAElum (Toyota).

В автомобілебудуванні домінують три постачальники важких САПР, причому системи Dassault і Siemens широко застосовуються як самими виробниками, так і партнерами першого рівня, а багато постачальників більш низьких рівнів працюють із САПР середнього класу цих компаній - Solidworks і SolidEdge. Продукти РТС мають сильні позиції в області створення силових ланок, а також у деяких партнерів автогігантів.

Питання для самоперевірки

1. Що таке САПР?
2. У яких цілях застосовується автоматизоване проектування?
3. Що входить у структуру САПР?
4. Перелічіть основні принципи проектування САПР.
5. Перелічіть спеціалізовані САПР. Охарактеризуйте їх.
6. Які вимоги пред'являються до САПР?
7. Перелічіть види САПР. Охарактеризуйте один вид.
8. Перелічіть типи САПР. Охарактеризуйте один тип.
9. Перелічіть вимоги до САПР.
10. Розкажіть про системи САПР використовувані в автомобілебудуванні.
11. Які найпоширеніші типи САПР для автоматизованого проектування в машинобудуванні?
12. Які найбільш поширені "важкі" системи САПР?
13. Що визначає якість автоматизованого проектування?

ЛЕКЦІЯ № 2. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

План лекції. Принципи і мета створення САПР. Процес і завдання проектування. Аспекти описів проєктованих об'єктів. Етапи і режими проектування в САПР. Інтелектуальні системи автоматизованого проектування: поняття і принципи їх створення, штучний інтелект.

Література: [1], с.7-21; [3], с.11-23; [5], с.12-17.

Принципи створення САПР.

Проектування – це процес складання опису, необхідного для створення в заданих умовах ще не існуючого об'єкта, на основі первинного опису цього об'єкта й (або) алгоритму його функціонування.

Проектування містить у собі комплекс робіт з теоретичного й експериментального дослідження, розрахунків і конструювання, які мають метою одержання опису предмета проектування, необхідного й достатнього для створення нового виробу або реалізації нового процесу, що задовольняє заданим вимогам. Об'єктами проектування можуть бути вироби (наприклад, підвіска, коробка передач) або процеси (наприклад, технологічні).

Проектування - це складний специфічний вид творчої діяльності людини, заснований на глибоких наукових знаннях і творчому пошуку, використанні накопиченого досвіду й навичок у певній сфері, не позбавлений, однак, необхідності виконання трудомістких рутинних робіт.

Проектування починається при наявності завдання на проєкт, що відбиває потреби, в одержанні деякого технічного виробу. Результатом проектування, як правило, служить повний комплект документації, що містить достатні відомості для виготовлення об'єкта в заданих умовах.

З інформаційної точки зору проектуванням є процес перетворення вхідної інформації про об'єкт проектування, про стан знань у розглянутій області, про досвід проектування об'єктів аналогічного призначення - у вихідну інформацію, у вигляді проектно-конструкторської й технологічної документації, виконаної в певній

формі й утримуючої опис об'єкта для його матеріальної реалізації.

З погляду теорії прийняття рішень, проектування представляється як процес прийняття проектно-конструкторських рішень, спрямований на одержання задовольняючого технічному завданню опису технічної системи, заданого ступеня деталізації. Проектний розв'язок являє собою проміжний або кінцевий опис об'єкта проектування, необхідний і достатній для ухвалення рішення по визначенню подальшого напрямку або закінчення процесу проектування.

Процес проектування можна також розглядати і як реалізацію циклу керування, що містить операції синтезу, аналізу, оцінку й виробіток керуючого впливу.

Усі визначення відбивають лише окремі сторони поняття "проектування" і показують, що однозначного його визначення не існує, а також те, що проектування є складний комплексний процес.

Проектування, здійснюване людиною при взаємодії з ЕОМ, називають автоматизованим.

Автоматизація проектування припускає систематичне використання засобів обчислювальної техніки при раціональному розподілі функцій між проектувальником і ЕОМ і обґрунтованому виборі методів машинного розв'язку завдань.

Раціональний розподіл функцій між людиною й ЕОМ має на увазі, що людина повинна в основному вирішувати завдання творчого характеру, а ЕОМ - завдання, що допускають формалізований опис у вигляді алгоритму, що дозволяє досягти більшої ефективності в порівнянні із традиційним ручним способом.

На частку ЕОМ приділяються рутинні й трудомісткі завдання, коли машина їх виконує найбільш ефективно й швидко. У міру вдосконалювання обчислювальної техніки, а особливо програмного й математичного забезпечення, частка робіт, виконувана ЕОМ, увесь час збільшується, аж до виконання певних евристичних завдань.

Істотна перевага машинних методів проектування полягає в можливості проводити на ЕОМ експерименти на математичних моделях об'єктів проектування, відмовившись або значно скоротивши дороге фізичне моделювання.

САПР створюються з метою:

- забезпечення високих темпів проектування сучасних виробів;
- підвищення якості й техніко-економічного рівня проектова-

- них об'єктів;
- здійснення інтеграції процесів автоматизації й підвищення ефективності об'єктів проектування при їхнім створенні й експлуатації за рахунок зменшення витрат на їхнє проектування, створення та експлуатацію;
- скорочення строків проектування;
- зменшення трудомісткості процесу проектування й скорочення частки рутинних проектних робіт;
- підвищення продуктивності праці;
- підвищення якості проектної документації.

Досягнення цілей створення САПР здійснюється на основі цільової програми в проектній організації й забезпечується шляхом:

- систематизації й удосконалювання процесів проектування на основі застосування математичних методів і засобів обчислювальної техніки;
- комплексної автоматизації проектних робіт у проектній організації з необхідною перебудовою її структури й кадрового складу;
- підвищення якості керування проектуванням на основі використання досвіду створення й функціонування САПР;
- застосування ефективних математичних моделей проектованих об'єктів і якісних матеріалів;
- уніфікації й стандартизації методів проектування;
- використання методів різноманітного проектування й оптимізації;
- створення єдиних банків даних, що містять систематизовані відомості довідкового характеру, необхідних для автоматизованого проектування об'єктів;
- створення банків моделей об'єкта проектування, й банків методів і проектних процедур;
- створення цільових систем інформації;
- заміни натурних випробувань і макетування моделюванням на ЕОМ (створення імітаційних моделей);
- розвитку взаємодій з автоматизованими системами різного рівня й функціонального призначення.

Основна функція САПР полягає в здійсненні автоматизованого проектування на всіх або на окремих стадіях проектування об'єктів та їх складових частин на основі застосування розробленої логічної

схеми проектування, системи моделей об'єкта проектування, автоматизованих проектних процедур і використання засобів обчислювальної техніки.

Метою функціонування САПР у проектній організації є одержання проектного рішення, тобто проміжного або кінцевого опису об'єкта проектування, необхідного й достатнього для розгляду або закінчення проектування, виконаного в заданій формі й у встановлений термін. Результатом проектування в САПР є сукупність закінчених проектних рішень, що задовольняють заданим вимогам. Ця сукупність містить усю необхідну інформацію для створення технології будівлі й експлуатації об'єкта проектування.

Досягнення цілей функціонування САПР забезпечується:

- розробкою нових проектних процедур і проектних операцій;
- побудовою нових проектних розв'язків людино-машинними методами й засобами;
- комплексною автоматизацією креслярсько-графічних робіт;
- введенням (створенням) цільових систем інформації;
- створенням і розширенням потенційних систем інформації; веденням (поповненням і відновленням) банку й бібліотеки моделей об'єкта проектування, банку методів і бібліотеки вирішальних процедур на машинних носіях;
- веденням (поповненням і відновленням) пакетів програм проектування; автоматизацією процесів одержання й тиражування проектної й конструкторської документації;
- веденням єдиних банків даних, що містять систематизовані відомості довідкового характеру;
- розробкою загального системного математичного забезпечення в режимах діалогу, телеобробки й забезпечення роботи спеціальних периферійних пристроїв.

Процес і завдання проектування.

Проектування технічного об'єкта пов'язане зі створенням, перетворенням і відображенням в прийнятій формі образу цього об'єкта. Образ об'єкта або його складових частин може створюватися в уяві людини в результаті творчого процесу або генеруватися по деяких алгоритмах у процесі взаємодії людини з ЕОМ. У кожному разі проектування починається при наявності завдання на проектування.

Можливості проектування складних об'єктів обумовлені вико-

ристанням ряду принципів, основними з яких є декомпозиція та ієрархічність описів об'єктів, багатоетапність та ітераційне проектування, типізація й уніфікація проектних рішень і середовища проектування. На кожному ієрархічному рівні використовуються свої поняття системи й елементів.

Більшість інженерів, що бере участь у проектуванні, мають справу із системами й елементами деякого рівня; проектовані ними об'єкти не завжди є складними системами, хоча багато хто з них входять до складу складних систем. Системами перших рівнів займаються провідні спеціалісти й перші керівники проектного підрозділу. Такий принцип в автоматизованому проектуванні називається **паралельний інженірінг** (concurrent engineering).

Аспекти описів проектованих об'єктів. Крім розчленовування описів по ступеню подробности відбиття властивостей об'єкта, що породжує ієрархічні рівні, використовують декомпозицію описів по характеру відображуваних властивостей об'єкта. Така декомпозиція призводить до появи ряду аспектів описів. Найбільш великими є функціональний, конструкторський і технологічний аспекти. Розв'язок завдань, пов'язаних з перетворенням або одержанням описів, що ставляться до цих аспектів, називають відповідно функціональним, конструкторським і технологічним проектуванням.

Функціональний аспект пов'язаний з відображенням основних принципів функціонування, характеру фізичних та інформаційних процесів, що протікають в об'єкті, і відбивається в принципових, функціональних, структурних, кінематичних схемах і супровідних їхніх документах.

Конструкторський аспект реалізує результати функціонального проектування, тобто з визначенням геометричних форм об'єктів і їх взаємним розташуванням у просторі.

Технологічний аспект пов'язаний з реалізацією результатів конструкторського проектування, тобто пов'язаний з описом методів і засобів виготовлення об'єктів, зокрема, з підготовкою програм для верстатів з ЧПУ.

Етапи проектування. Етап проектування – це частина процесу проектування, що включає в себе формування всіх необхідних описів об'єкта, які відносяться до одного або декількох ієрархічних рівнів і аспектів. Часто назви етапів збігаються з назвами відповідних ієрархічних рівнів і аспектів.

Проектні процедури. Складові частини етапу проектування називають проектними процедурами. Проектна процедура - це частина етапу, виконання якої закінчується одержанням проектного рішення. Кожній проектній процедурі відповідає деяке завдання проектування, розв'язуване в рамках даної процедури. Прикладами проектних процедур можуть служити: вибір типової конструкції для побудови підсилювача рульового керування, розрахунки параметрів підсилювача, оформлення креслення виробу.

Проектна операція. Більш дрібні складові частини процесу проектування, що входять до складу проектних процедур, називають проектними операціями. Прикладами проектних операцій можуть служити: креслення типового графічного зображення (шліцевого з'єднання, підшипника тощо), розв'язок системи алгебраїчних рівнянь, що описують статичний стан підсилювача, розрахунки показників ефективності чергового варіанта побудови підсилювача.

Маршрутом проектування називається послідовність проектних процедур, що веде до одержання необхідних проектних рішень. **Приклад типового маршруту проектування:** синтез принципової схеми пристрою - складання математичної моделі - оптимізація параметрів - статистичний аналіз.

Види описів проектованих об'єктів і класифікація їх параметрів. Процес проектування починається з одержання технічного завдання на проектування. Завдання представляється у вигляді тих або інших документів і є вихідним (первинним) описом об'єкта. Остаточний опис проектованого об'єкта являє собою повний комплект схемної, конструкторської й технологічної документації, оформленої по ЕСКД і призначеної для використання в процесі виготовлення й експлуатації цього об'єкта.

Опис об'єкта може бути у вигляді текстових документів, креслень, специфікацій, таблиць, графіків, схем, техпроцеса тощо. Особливе місце в описі об'єктів займають математичні моделі, які можуть становити найбільш складні форми опису об'єктів, наприклад, функціональна модель об'єкта - електронний прототип.

Режими проектування в САПР. По характеру й ступеню участі людини у використанні ЕОМ, при виконанні деякого маршруту, розрізняють кілька режимів проектування.

Автоматичний режим - має місце при виконанні маршруту проектування по формальних алгоритмах на ЕОМ без втручання лю-

дини в хід розв'язку.

Ручний (неавтоматизований) режим - характеризується виконанням маршруту без допомоги ЕОМ.

Автоматизоване проектування є частково автоматизованим, якщо частина проектних процедур у маршруті виконується людиною вручну, а частина - з використанням ЕОМ. Такий режим звичайно відбиває невисокий ступінь автоматизації проектування.

При проектуванні не завжди вдається досягти повної формалізації опису об'єкта. У багатьох випадках така формалізація є в принципі неможливою або недоцільною через більші витрати машинного часу, відсутності чітких критеріїв, багатокритеріальності завдань і т.п.

Тому широке застосування одержують інтерактивні (діалогові) режими спілкування людини з ЕОМ. Взаємодією людини й машини в реальному масштабі часу забезпечується безперервний діалог між ними й спільне "конструювання" рішень у ході проектування. У діалозі з ЕОМ людина міняє свої рішення доти, поки не одержить бажані результати. Такий режим взаємодії людини з ЕОМ називають інтерактивним.

Інтерактивні системи дозволяють ефективно вирішувати багато важко формалізованих завдань. Формальні компоненти передаються на ЕОМ, а неформальні залишаються прерогативою людини й легко коректують і доповнюють формальні компоненти через діалоговий режим взаємодії людини з ЕОМ, здійснюваного по ходу розв'язку завдання. З'являється можливість відмовитися від традиційної "точної процедури оптимізації" й перейти на наближену оптимізацію на основі модельного експерименту шляхом постановки питань типу "що, якщо...?"

Якщо ініціатором діалогу є людина, якій надана можливість у будь-який момент перервати автоматичні обчислення на ЕОМ, то такий діалог називається активним. У режимі активного діалогу вдається з'єднати величезні формально-логічні й інформаційні можливості ЕОМ з такими неформальними "людськими" способами розв'язку завдань, як особистий досвід, інтуїція, оцінка ситуації в цілому.

У багатьох випадках користувач САПР у режимі діалогу тільки вводить і редагує вихідні дані для виконання певного маршруту проектування, а безпосереднє виконання маршруту проводиться в автоматичному (пакетному) режимі роботи ЕОМ.

Інтелектуальні системи автоматизованого проектування.

Можливість інтелектуалізації автоматизованого проектування.

Евристичний підхід - термін, запозичений у Пойа (1954, 1957), який вважав, що більшість математичних доказів проводиться на основі здогаду про характер розв'язку й потім перевірки того, що здогад правильний.

Пойа протиставляв це алгоритмічному способу - механічному здійсненню всіх кроків, які, зрештою, зобов'язані привести до правильної відповіді. Насправді евристичний підхід може бути алгоритмічним, що полягають у написанні ряду правил (тобто програми) для породження здогадів і потім перевірки їх правильності.

Евристичні функції й методи розв'язку майже неминуче залежать від характеру завдання — метод, гарний для проектування одних об'єктів, не може бути придатний для проектування інших. Таке положення чи навряд коли-небудь зміниться.

При реалізації інтелектуальних функцій неодмінно присутня інформація, називана знаннями. Інакше кажучи, інтелектуальні системи є в той же час системами обробки знань. Отже, при обробці знань найбільш фундаментальною й важливою проблемою є насамперед опис значеннєвого вмісту проблем самого широкого діапазону, а також наявність такої форми опису знань, яка гарантує, що обробка їх умісту формальними правилами перетворення, буде здійснюватися правильно.

У результаті всіх виниклих утруднень в останні роки був виявлений величезний інтерес до штучного інтелекту, зокрема до інженерії знань, яка підійшла впритул до рівня практичного застосування. Була розроблена безліч систем, що володіють (принаймні, частково) специфічними рисами обробки знань.

У більшості цих систем, що одержали назву експертних, переслідувалася мета формалізації й нагромадження знань експертів, а також забезпечення можливості використання цих знань неспеціалістами.

Штучний інтелект – це здатність комп'ютерної системи виконувати функції, звичайно асоційовані з інтелектуальною діяльністю людини (аналіз даних, навчання, прийняття рішень та ін.).

У порівнянні зі звичайними програмними системами, системи обробки знань відрізняються такими гідностями, як можливість порівняно простої реалізації, легкої адаптованості до змін навколишнього середовища, простотою освоєння. Тому при належному виборі про-

блеми, що укладається в концепції систем обробки знань, можна сподіватися на одержання гарних результатів.

Поняття інтелектуальної САПР.

Принципова відмінність інтелектуальних систем автоматизованого проектування полягає в тому, що в якості вихідної інформації виступають технічні вимоги до виробу й знання про методи його проектування, засновані на його функціональному призначенні й досвіді експерта. Поняття інтелектуальної САПР говорить про присутність у системі знань, тобто можливості на якому-небудь рівні ухвалювати розв'язки без участі проектувальника.

Така можливість може бути забезпечена шляхом переходу від побудови системи проектування з алгоритмічного принципу роботи САПР, до методики об'єктно-орієнтованого підходу. При такому підході об'єкт (точніше, його інформаційна модель) у міру проектування безупинно змінює стан аж до закінчення процесу.

Інтелектуальна САПР будується для цілого класу функціонально подібних виробів. Тут мова про САПР іде не як про генератор параметричних геометричних моделей типового виробу, з можливими доповненнями, а як про систему, де такий компонент, як параметризований графічний образ виробу у вигляді креслення або іншої геометричної інформації, є лише складовою частиною всіх знань про виріб.

Геометричні знання можуть і не використовуватися при проектуванні. При цьому важливим моментом є процес прийняття рішень. Поняття "інтелектуальна система" ні в якій мірі не означає, що в процесі проектування не може брати участь людина.

Поняття інтелектуальної САПР має на увазі розумну комбінацію в питаннях прийняття рішень між людиною й тим інтелектуальним ядром, яке присутнє в системі. Незаперечною перевагою інтелектуальної САПР є те, що процес проектування виробу не пов'язаний з рівнем кваліфікації кінцевого користувача системи.

Усі навантаження по грамотному формуванню внутрішнього інтелектуального ядра системи лягають на плечі експерта в предметній області (ними, як правило, є провідні спеціалісти підприємств), і тільки на стадії створення системи. Гнучкість об'єктноорієнтованого підходу в проектуванні дозволяє без корінної перебудови коректувати елементи системи й розширювати її можливості.

Принцип створення інтелектуальної САПР.

В основі інтелектуальної САПР лежить банк знань. Формування банку знань - основне завдання побудови інтелектуальному САПР. На цій стадії знання експерта формалізуються відповідно до закладених методик.

Банк знань, по конкретній прикладній області, після формування містить ієрархічну структуру об'єктів проектування, бази знань по структурно-параметричному синтезу й бази даних із установленими між ними зв'язками.

Після завершення процесу формування банку знань експерт у прикладній області не ухвалює активної участі в роботі інтелектуальної САПР на подальших стадіях роботи системи, його роль полягає в можливій корекції окремих складових банку знань. Після формування банку знань наступним етапом розробки інтелектуальної САПР є побудова оболонки - посередника між сформованим банком знань і користувачем системи.

За допомогою спеціальної інструментальної підсистеми формується прикладний інтерфейс конкретного банку знань до внутрішньої уніфікованої форми банку знань. Функціонування інтелектуальної системи починається із процесу взаємодії з користувачем.

На цьому етапі формуються конкретні значення вихідних даних, які активізують різні компоненти банку знань. Далі відбувається пошук розв'язку прикладного завдання на основі вихідних даних користувача й сформованого банку знань. Пошук розв'язку прикладного завдання опирається на інтелектуальне ядро системи. Остаточним етапом роботи інтелектуальної САПР є формування результатів.

Системи штучного інтелекту мають приблизно однакову функціональну структуру, як правило, виділяються наступні компоненти:

- підсистема, що забезпечує нагромадження й ведення знань;
- вирішувач - підсистема, що моделює творчу інтелектуальну діяльність у сфері застосування знань, до розв'язуваних нею завдань;
- підсистема інтелектуальних інтерфейсів, що забезпечує, зокрема, взаємодію "система штучного інтелекту - людина" у формі, близькій до природньої для людини, а також сприйняття інформації у формі образів, зображень об'єктів реального світу і т.п.

Питання для самоперевірки

1. Що таке процес проектування?
2. Який комплекс робіт містить у собі проектування?
3. Яка мета створення систем САПР?
4. Яким шляхом досягаються поставлені цілі при створенні САПР?
5. Яку основну функцію виконує САПР?
6. Які аспекти виникають в процесі проектування об'єкту?
7. Назвіть основні етапи проектної роботи.
8. Які існують режими проектування в САПР?
9. Що таке "штучний інтелект"?
10. Розкрийте поняття інтелектуальної САПР.
11. Перелічіть принципи створення інтелектуальної САПР.
12. Що таке "паралельний інжинірінг"?
13. Що таке "проектна процедура"?
14. В якому вигляді представляється опис проектованого об'єкта?
15. Назвіть основні компоненти системи штучного інтелекту.

ЛЕКЦІЯ № 3. CALS-ТЕХНОЛОГІЇ - ПОНЯТТЯ ПРО ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ВИРОБУ

План лекції. Виникнення концепції CALS та її еволюція. Стандарти CALS-технологій. Структура інтегрованого інформаційного середовища. Концепція впровадження CALS -технологій. Основа CALS-технологій. Життєвий цикл промислових виробів.

Література: [2] с.17-21; [4] с.5-36; [5] с.31-34; [6] с. 3-15.

Технології комплексної комп'ютеризації сфер промислового виробництва, ціль яких - уніфікація й стандартизація специфікацій промислової продукції на всіх етапах її життєвого циклу, називають CALS-технологіями.

Основні специфікації представлені проектною, технологічною, виробничою, маркетинговою, експлуатаційною документацією. В CALS-системах передбачені зберігання, обробка й передача інформації в комп'ютерних середовищах, оперативний доступ до даних у потрібний час і в потрібному місці.

Застосування CALS-технологій дозволяє суттєво скоротити обсяги проектних робіт, тому що описи багатьох складених частин устаткування, раніше проєктованих машин і систем - зберігаються в уніфікованих форматах даних мережних серверів, доступних будь-якому користувачеві технологій CALS. Це суттєво полегшує вирішення проблем ремонтпридатності, інтеграції продукції в різного роду системи й середовища, адаптації до мінливих умов експлуатації, спеціалізації проектних організацій і т.п.

CALS-технології мають на увазі використання різних CAD/CAM/CAE/PDM-систем. Окремі модулі цих систем у рамках одного підприємства дозволяють здійснювати керування проектом (PDM-системи), інженерні розрахунки, аналіз, моделювання й оптимізацію проектних рішень (CAE-системи), двох- і тривимірне проектування деталей і складальних одиниць (CAD-системи), розробку технологічних процесів, синтез керуючих програм для технологічного устаткування з ЧПУ, моделювання процесів обробки, у тому числі побудови траєкторій відносного руху інструмента й заготовки в процесі обробки, розрахунки норм часу обробки (CAM-системи).

Виникнення концепції CALS та її еволюція.

Вперше роботи зі створення інтегрованих систем, що підтримують життєвий цикл продукції, були початі в 1980-х р. в оборонному комплексі США. Передбачалося, що реалізація нової концепції, яка одержала позначення CALS (Computer Aided Logistic Support - комп'ютерна підтримка процесу поставок), дозволить скоротити витрати на організацію інформаційної взаємодії державних установ із приватними фірмами в процесах розробки, поставок і експлуатації військової техніки.

Оскільки під логістикою звичайно розуміють дисципліну, присвячену питанням постачання й керування запасами, а функції CALS набагато ширші та пов'язані з усіма етапами життєвого циклу промислових виробів, застосовують і більш відповідне до предмета розшифрування абревіатури CALS - Continuous Acquisition and Life Cycle Support - безперервні поставки та інформаційна підтримка життєвого циклу продукції.

Перша частина - Continuous Acquisition (безперервні поставки) означає безперервність інформаційної взаємодії із замовником у ході формування замовлення, процесу поставки і т.п.

Друга частина - Life Cycle Support (підтримка життєвого циклу виробу) - означає системність підходу до інформаційної підтримки всіх процесів життєвого циклу виробу, у тому числі, процесів експлуатації, обслуговування, ремонту й утилізації тощо. Російськомовне найменування цієї концепції й стратегії - ИПВ (Інформаційна Підтримка життєвого циклу Виробів) або КСПВ (Комп'ютерний Супровід і Підтримка Виробів).

Оскільки термін CALS завжди носив військовий відтінок, у цивільній сфері широке поширення одержали терміни Product Life Cycle Support (PLCS) або Product Life Management (PHM) "підтримка життєвого циклу виробу" або "керування життєвим циклом виробу".

Стандарти CALS-технологій.

Впровадження CALS-технології - складна, багатопланова й комплексна проблема, у якій одне із ключових місць належить стандартизації.

Нормативна база в області CALS-технологій повинна, зокрема, забезпечувати:

- регламентацію безперервної комп'ютеризованої підтримки

життєвого циклу створення й експорту складної наукомісткої продукції з урахуванням вимог міжнародних і закордонних стандартів;

- формування стандартизованого комплексу технологій роботи з даними, включаючи дані про сам продукт, процеси його створення й середовище;
- створення, впровадження й експлуатацію типових програмно-апаратних засобів;
- інтеграцію інформаційних систем різних рівнів і видів, систем САПР і АСУП на основі застосування технологій відкритих систем і методів функціональної стандартизації.

За кордоном роботи проводяться в рамках ISO TK 184. У США та інших країнах НАТО розроблені нормативні документи що включають міжнародні стандарти (ISO), федеральні стандарти США (FIPS), військові стандарти США (WIL), стандарти країн НАТО.

У Росії роботи із впровадження й стандартизації CALS-технологій перебувають на початковому етапі. У цей час вже затверджені перші стандарти в області CALS. Створений і вже діє Технічний комітет № 431 при Держстандарті Росії, основним завданням якого є розробка стандартів в області CALS.

Структура Інтегрованого Інформаційного Середовища (ІС).

Принципи й технології CALS знаходять усе більш широке застосування в промисловості Росії та країн СНД, і в першу чергу на підприємствах оборонного комплексу, які поставляють свою продукцію на зовнішній ринок. Ядро ІПВ-технології становить інтегроване інформаційне середовище (ІС).

ІС являє собою сховище даних, що існує в мережевій комп'ютерній системі, що охоплює всі служби й підрозділи підприємства, пов'язані із процесами життєвого циклу (ЖЦ) виробів. В ІС діє єдина система правил представлення, зберігання й обміну інформацією. Відповідно до цих правил в ІС протікають супроводжувальні інформаційні процеси, що підтримують ЖЦ виробу на всіх його етапах.

Як мінімум, ІС повинна включати до свого складу дві бази даних: Загальну Базу Даних про Вироб (вироби) (ЗБДВ) і Загальну Базу Даних про Підприємство (ЗБДП).

З ЗБДВ пов'язані всі процеси на всіх стадіях ЖЦ. ЗБДВ забезпечує інформаційне обслуговування й підтримку діяльності:

- замовників (власників) виробу;
- розроблювачів (конструкторів), технологів, управлінського й виробничого персоналу підприємства - виготовлювача;
- експлуатаційного й ремонтного персоналу замовника й спеціалізованих служб.

ЗБДП має інформаційні зв'язки із процесами технологічної й організаційно-економічної підготовки виробництва й власно виробництвом (включаючи процеси відвантаження й транспортування готової продукції).

При реалізації процесів, що охоплюють ЖЦ продукції, у якості вихідних даних використовується інформація, що втримується в ПС, а інформаційні об'єкти (ІО), породжувані в ході процесів, вертаються в ПС для зберігання й наступного використання в інших процесах.

Кожний ІО має набір характеристик, що описують властивості реального фізичного об'єкта. Кожний ІО ідентифікується унікальним кодом і може бути витягнутий з ОБД для виконання дій із ним. Крім ІО, в ПС утримується інформація про підприємство: про виробничу управлінську структуру, про технологічне й допоміжне устаткування, про персонал, фінанси тощо.

Уся сукупність цих даних утворює ОБДП, яка, у свою чергу, складається з декількох розділів, наприклад, "Економіка й фінанси", "Зовнішні зв'язки підприємства", "Виробництво й технологія", "Система якості" та ін. При необхідності з ПС можуть бути витягнуті різноманітні документи, необхідні для функціонування підприємства.

Концепція впровадження CALS-технологій.

Аналіз інформаційних матеріалів, опублікованих у традиційній пресі й у мережі Інтернет, дозволив виявити ряд основних аспектів, що визначають ефективність застосування CALS-технологій. До них належать:

- комп'ютерна автоматизація, що дозволяє підвищити продуктивність основних процесів і операцій створення інформації;
- інформаційна інтеграція процесів, що забезпечує спільне й багаторазове використання тих самих даних. Інтеграція досягається мінімізацією числа й складності допоміжних процесів і операцій, пов'язаних з пошуком, перетворенням і передачею інформації. Одним з інструментів інтеграції є стандартизація способів і технологій представлення даних для того, щоб результати попереднього процесу могли бути використані для

наступних процесів з мінімальними перетвореннями;

- перехід до безпаперової організації процесів і застосування нових моделей їх організації.

Із цих аспектів можна виділити конкретні фактори, що безпосередньо впливають на економічні показники виробництва, що застосовує CALS-технології:

- скорочення витрат і трудомісткості процесів технічної підготовки й освоєння виробництва нових виробів;
- скорочення календарних строків виводу нових конкурентоспроможних виробів на ринок;
- скорочення частки браку й витрат, пов'язаних із внесенням змін у конструкцію;
- збільшення обсягів продажів виробів, постачених електронною технічною документацією (зокрема, експлуатаційною), відповідно до вимог міжнародних стандартів;
- скорочення витрат на експлуатацію, обслуговування й ремонт виробів, які для складної наукомісткої продукції часом рівні або перевищують витрати на її закупівлю.

Приведемо деякі кількісні оцінки ефективності впровадження CALS у промисловості США:

- пряме скорочення витрат на проектування - 10...30 %;
- скорочення часу виводу нових виробів на ринок - 25...75 %;
- скорочення частки браку й обсягу конструктивних змін - 23...73 %;
- скорочення витрат на підготовку технічної документації - до 40 %;
- скорочення витрат на розробку експлуатаційної документації - до 30 %;
- скорочення часу розробки виробів - 40...60 %.

По даним закордонних джерел, інвестиції уряду США в сферу CALS-технологій становлять - \$1 млрд. у рік. Уряд Фінляндії витратив на національну програму в цій області понад \$20 млн. і приблизно таку ж суму (близько \$25 млн.) вклали в неї приватні компанії. Середні витрати на один проект, присвячений розв'язку локального завдання в області CALS-технологій (наприклад, розробка стандарту або програми), становлять \$1,2...1,5 млн. при середньому терміні виконання від 2 до 4 років. Ці цифри свідчать про те, яке значення надають на Заході проблематиці, пов'язаній із CALS-технологіями.

Усю діяльність, пов'язану з CALS-технологіями, можна розділити на чотири сфери:

- впровадження CALS-технологій на підприємствах;
- використання CALS-технологій при розробці й виробництві продукції;
- розробка програмних засобів, що реалізують CALS-технології;
- керування якістю продукції на основі CALS-технології.

Виходячи з виділених сфер діяльності, можна виділити вісім груп фахівців, підготовка, перепідготовка й атестація яких необхідна для нормального впровадження CALS-технологій на вітчизняних підприємствах. Зв'язок між сферами діяльності й необхідними для кожної конкретної сфери фахівцями показана на рис. 3.1.

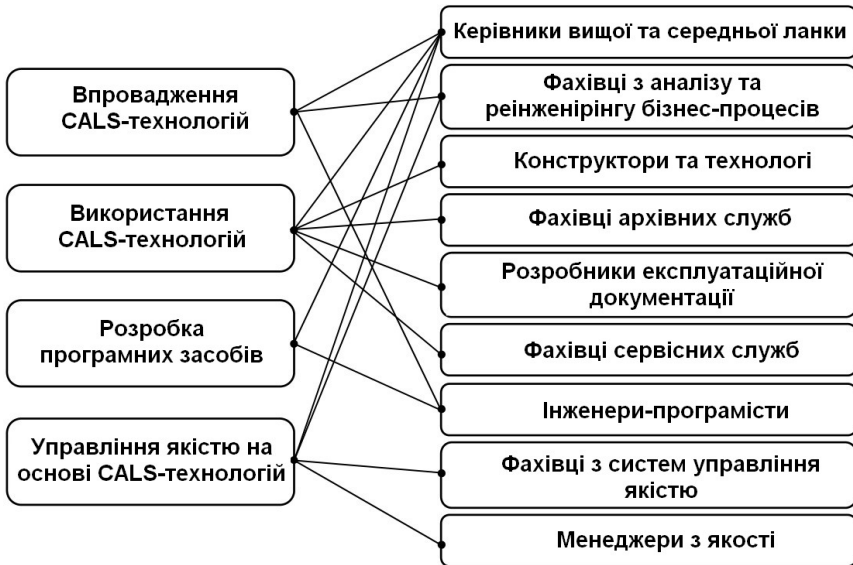


Рисунок 3.1 - Зв'язок між сферами діяльності і необхідними спеціальностями

Розробка програмних засобів, що реалізують CALS-технології, припускає створення спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) вистави, що реалізує концепцію усієї інформації про виріб в електронному вигляді. Сюди відносяться всі програмні продукти, викорис-

товувані при розробці, виробництві й експлуатації продукції: САПР різного рівня, системи керування даними про виріб (PDM-системи), програми інженерних розрахунків, системи підготовки експлуатаційної документації тощо.

У цей час вітчизняні розробки в області CALS-технологій застосовуються для розв'язання наступного комплексу питань:

- розробка й промислова апробація програмно-методичних засобів, призначених для зберігання й керування даними про продукцію відповідно до вимог стандартів CALS;
- розробка й впровадження програмних засобів підготовки електронної експлуатаційної документації на виріб;
- розробка методики формалізованого опису й аналізу процесів, що протікають у ході життєвого циклу виробу, і створення системи забезпечення якості продукції відповідно до вимог стандартів ISO серії 9000;
- розробка нормативної бази застосування CALS-технологій (стандартів, документів, методичних рекомендацій).

Основа CALS-технологій.

Комп'ютерні системи автоматизації проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, конструкторської й технологічної підготовки виробництва часто ще називають автоматизованими інформаційними системами (AIC).

Розглянемо далі весь комплекс питань, пов'язаний із класифікацією й структурою AIC, їх апаратним і програмним забезпеченням, а також можливими областями використання в машинобудівних виробництвах.

Класифікація й структура AIC.

У якості ознак класифікації AIC використовуються: область застосування, охоплювана територія, організація інформаційних процесів, напрямок діяльності, призначення, структура та ін.

Залежно від організації інформаційних процесів, AIC діляться на два великі класи: керуючі та інформаційні (автоматизовані системи наукових досліджень (АСНД), САПР, експертні системи (ЕС) та ін.).

Призначення й структура побудови AIC характеризуються наявністю відповідних підсистем (рис. 3.2). Цей клас AIC є історично одним з перших на виробництві.

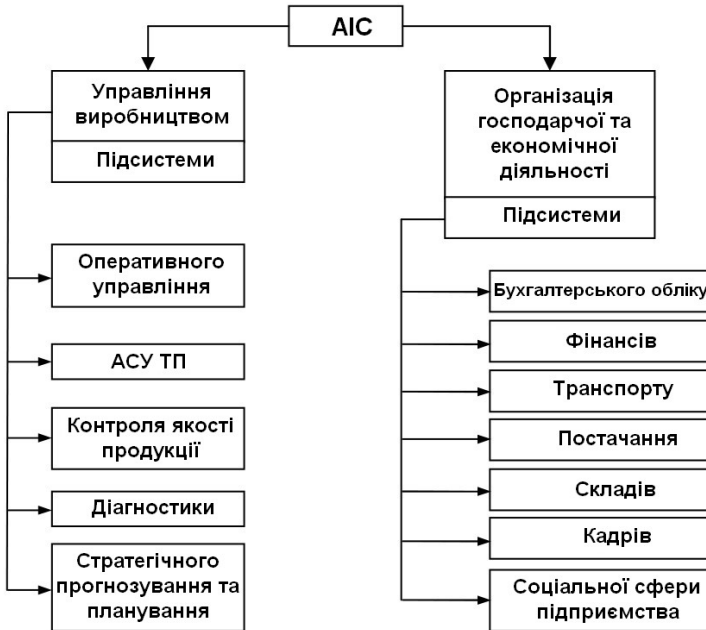


Рисунок 3.2 - Класифікація АІС на підприємстві

По цільовому призначенню АІС класифікуються на:

- бухгалтерські (accounting information system - AIS);
- адміністративні (management information system - MIS) - здійснюють збір і обробку всіх даних, необхідних для планування, обслуговування, перевірки, оцінки й керування діяльністю організації;
- інформаційні системи керівників (ICK, або executive information system - EIS) - ухвалюють дані з багатьох джерел, поєднують і роблять їхніми доступними в зручному діалоговому форматі;
- склади даних (data warehouses) - це база даних, що зберігає всю інформацію, що стосується діяльності компанії. Усі прикладні програми компанії можуть звертатися до неї з різними запитами;
- системи автоматизованого проектування (САПР, або CAD/CAE - computer assisted design/engineering);

- автоматизовані системи керування виробництвом (АСУП, або САМ - computer assisted manufacturing) представляють із себе комплекс апаратних і програмних засобів, що брав участь у виробництві. До них відносяться верстати з ЧПУ, робототехнічні комплекси тощо. Разом із САПР, такі системи в деяких випадках дають можливість стерти грань між розробкою й виробництвом і випускати продукти з коротким життєвим циклом;
- системи підтримки рішень (СПР, або decision support systems - DSS) дозволяють користувачеві вивчати альтернативи, ставити запитання типу "що буде, якщо", оперувати мінливими умовами й ухвалювати розв'язки в непередбачених ситуаціях. Крім бази даних, такі системи містять базу моделей і мають діалогові засоби, що дозволяють застосовувати ці моделі, як би "програючи" наявні дані на моделі з метою довідатися, які наслідки викличе те або інший рішення. Щоб полегшити застосування моделей, СПР дуже часто присвячуються вузькій предметній області. Для роботи з СПР досить володіти графічним інтерфейсом і знати область застосування;
- експертні системи (ЕС, або expert system - ES) містять знання й досвід одного або більше фахівців у певній предметній області. ЕС, крім бази даних, містить базу знань (фактів і правил логічного висновку), яка моделює пізнання експерта в якійсь предметній області. Підсистема логічного виводу покликана відповідати на запитання користувачів, а підсистема пояснень призначена для відповіді на запитання, як був отриманий той або інший висновок. Частіше такі системи застосовуються для "розширення" сфери діяльності провідних спеціалістів фірми, або щоб "залучити" експерта зі сторони;
- системи кінцевого користувача (СКП, або end user system - EUS) розробляються користувачами, щоб задовольнити свої власні потреби в пошуку інформації, особистої продуктивності й розробки додатків.

За структурою АІС можна розділити на дві частини: функціональну та забезпечувальну.

Функціональна частина забезпечує реалізацію певних функцій керування. До функціональних підсистем відносяться: технічна підготовка виробництва; підготовка оперативного керування; підготовка

матеріального постачання; підготовка збуту й реалізації готової продукції; підготовка керування кадрами; підготовка керування бухгалтером, відділ кадрів.

Забезпечуючі підсистеми діляться на:

- програмне забезпечення;
- інформаційне забезпечення (сукупність масивів інформації, які записані на машинні носії, систем кодування інформації первинних і вторинних документів, схем, описів, технологій обробки даних, інструкцій, які забезпечують відображення виробництва й дозволяють ухвалювати управлінське рішення);
- технічне забезпечення (сукупність технічних засобів по збору, реєстрації, передачі, обробки інформації й технічної документації, що дозволяють експлуатувати ці технічні засоби);
- організаційне забезпечення (сукупність технічних документів, що регламентують функціонування системи в цілому, а також поведінка людини в рамках цієї системи);
- математичне забезпечення;
- лінгвістичне забезпечення (використання словників, визначень, що дозволяє ідентифікувати різні елементи системи).

Життєвий цикл промислових виробів.

Життєвий цикл промислових виробів включає ряд етапів, починаючи від зародження ідеї нового продукту, до утилізації по закінченню строку його використання. Основні етапи життєвого циклу виробу представлені на рис. 3.3. До них відносяться етапи проектування, технологічної підготовки виробництва (ТПВ), власне виробництва, реалізації продукції, експлуатації, й нарешті, утилізації.

На всіх етапах життєвого циклу виробів, є свої цільові настанови. При цьому учасники життєвого циклу прагнуть досягти поставлених цілей з максимальною ефективністю.

На етапах проектування, ТПВ і виробництва, потрібно забезпечити виконання ТЗ (технологічного завдання) при заданому ступені надійності виробу й мінімізації матеріальних і тимчасових витрат, що необхідно для досягнення успіху в конкурентній боротьбі в умовах

ринкової економіки. Поняття ефективності охоплює не тільки зниження собівартості продукції й скорочення строків проектування й виробництва, але й забезпечення зручності освоєння й зниження витрат на майбутню експлуатацію виробів. Особливу важливість вимоги зручності експлуатації мають для складної техніки, наприклад, у таких галузях, як авіа- або автомобілебудування.

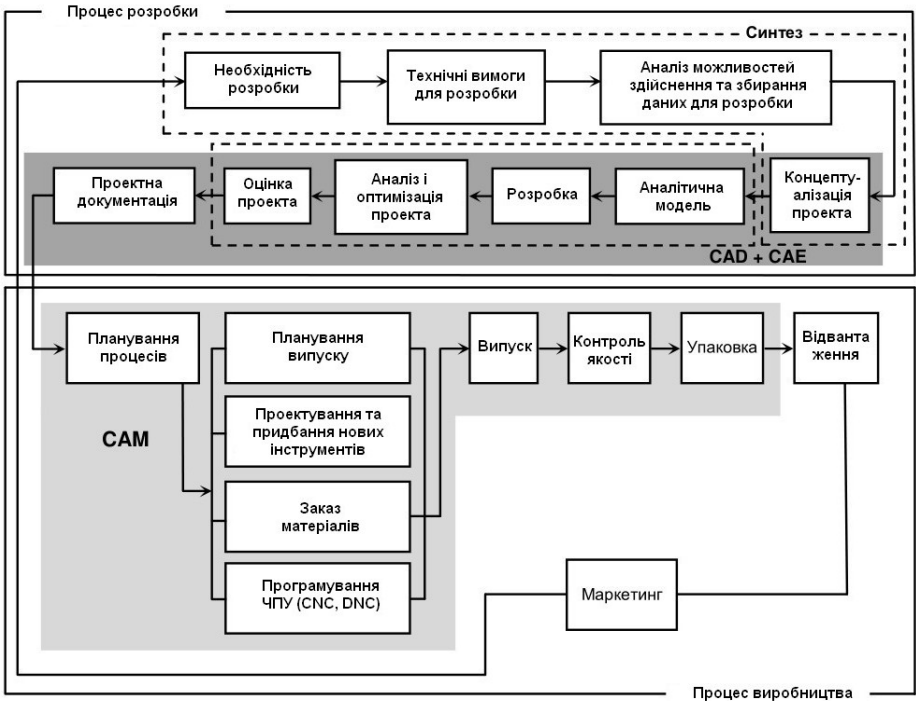


Рисунок 3.3 - Життєвий цикл виробу

Складні промислові вироби, сьогодні виявляється вже неможливим випускати на сучасних підприємствах без широкого використання АІС. Специфіка завдань, розв'язуваних на різних етапах життєвого циклу виробів, обумовлює різноманітність застосовуваних АІС.

Основні типи АІС із їхньою прив'язкою до тих або інших етапів життєвого циклу виробів показані на рис. 3.4. Автоматизація проектування при цьому, здійснюється САПР. В САПР машинобудівних галузей промисловості прийнято виділяти системи функціонального, конс-

трукторського й технологічного проектування. Перші з них називають системами розрахунків і інженерного аналізу або системами CAE (Computer Aided Engineering).

Системи конструкторського проектування називають системами CAD (Computer Aided Design).

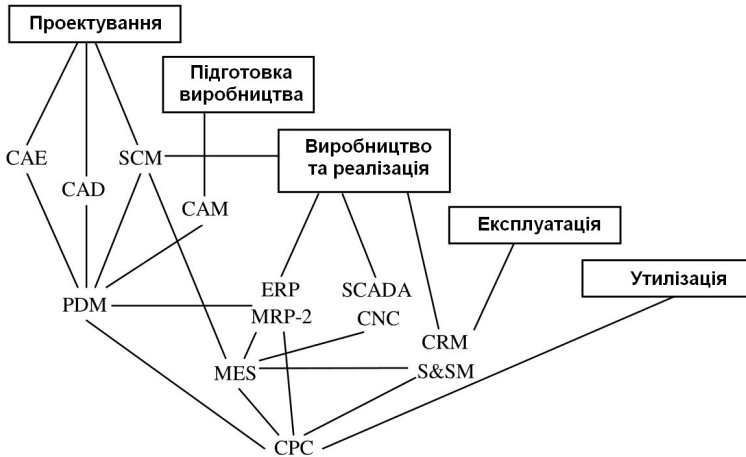


Рисунок 3.4 - Етапи життєвого циклу промислових виробів і використовувані АІС

Проектування технологічних процесів становить частину технологічної підготовки виробництва й виконується в системах CAM (Computer Aided Manufacturing).

Функції координації роботи систем CAE/CAD/CAM, керування проектними даними й проектуванням покладені на систему керування проектними даними PDM (Product Data Management).

Вже на стадії проектування потрібні послуги системи керування ланками поставок (SCM - Supply Chain Management), іноді називаної системою Component Supplier Management (CSM). На етапі виробництва ця система управляє поставками необхідних матеріалів і комплектуючих.

Інформаційна підтримка етапу виробництва продукції здійснюється автоматизованими системами управління підприємством (АСУП) і автоматизованими системами управління технологічними процесами (АСУТП).

До АСУП відносяться системи планування й управління підприємством ERP (Enterprise Resource Planning), планування виробництва й вимог до матеріалів MRP-2 (Manufacturing Requirement Planning), виробнича виконавча система MES (Manufacturing Execution Systems), а також SCM і система керування взаєминами із замовниками CRM (Customer Requirement Management).

Найбільш розвинені системи ERP виконують різні бізнес-функції, пов'язані із плануванням виробництва, закупівлями, збутом продукції, аналізом перспектив маркетингу, керуванням фінансами, персоналом, складським господарством, обліком основних фондів і т.п. Системи MRP-2 орієнтовані, головним чином, на бізнес-функції, безпосередньо пов'язані з виробництвом, а системи MES - на розв'язок оперативних завдань керування проектуванням, виробництвом і маркетингом.

На етапі реалізації продукції виконуються функції керування відносинами із замовниками й покупцями, проводиться аналіз ринкової ситуації, визначаються перспективи попиту на плановані вироби. Ці функції здійснює система CRM.

Маркетингові завдання іноді покладають на систему S&SM (Sales and Service Management), яка, крім того, використовується для вирішення проблем обслуговування виробів. На етапі експлуатації застосовують також спеціалізовані комп'ютерні системи, зайняті питаннями ремонту, контролю, діагностики експлуатованих систем.

АСУТП контролюють і використовують дані, що характеризують стан технологічного устаткування й протікання технологічних процесів. Саме їх найчастіше називають системами промислової автоматизації.

Для виконання диспетчерських функцій (збір і обробка даних про стан устаткування й технологічних процесів) і розробки ПО для вбудованого устаткування до складу АСУТП уводять систему SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Безпосереднє програмне керування технологічним устаткуванням здійснюють за допомогою системи CNC (Computer Numerical Control) на базі контролерів (спеціалізованих комп'ютерів, названих промисловими), які вбудовані в технологічне устаткування.

Останнім часом зусилля багатьох компаній, що роблять програмно-апаратні засоби АЗ, спрямовані на створення систем електронного бізнесу (E-Commerce). Завдання, розв'язувані системами E-

Commerce, зводяться не тільки до організації на сайтах Internet вітрин товарів і послуг.

Вони поєднують у єдиному інформаційному просторі запити замовників і дані про можливості безлічі організацій, що спеціалізуються на наданні різних послуг і виконанні тих або інших процедур і операцій по проектуванню, виготовленню, поставках замовлених виробів. Такі системи E-Commerce називають системами керування даними в інтегрованому інформаційному просторі CPC (Collaborative Product Commerce) або PLM. Проектування безпосереднє під замовлення дозволяє добитися найкращих параметрів створюваної продукції, а оптимальний вибір виконавців і ланок поставок веде до мінімізації часу й вартості виконання замовлення.

Характерна риса CPC - забезпечення взаємодії багатьох підприємств, тобто технологія CPC є основою, що інтегрує інформаційний простір, у якому функціонують САПР, ERP, PDM, SCM, CRM та інші АІС різних підприємств.

Питання для самоперевірки

1. Що таке концепція CALS?
2. Що стало передумовою виникнення концепції CALS?
3. Які нормативні бази забезпечує CALS-технологія?
4. Наведіть кількісні оцінки ефективності впровадження CALS-технологій у промисловості на прикладі США.
5. Фахівці яких сфер діяльності необхідні для впровадження CALS-технологій на підприємстві?
6. Що входить до складу автоматизованих інформаційних систем (АІС)?
7. Які функції виконують системи підтримки рішень?
8. Як розподіляються забезпечуючі системи?
9. Які етапи включає в себе життєвий цикл промислових виробів?
10. Які функції виконує система керування ланками поставок (SCM - Supply Chain Management)?
11. За рахунок чого здійснюється інформаційна підтримка етапу виробництва продукції?
12. Для чого необхідна система керування проектними даними PDM (Product Data Management)?
13. Як здійснюється безпосереднє програмне керування технологічним устаткуванням на підприємстві?

ЛЕКЦІЯ № 4. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

План лекції. Математичні моделі. Вимоги до математичних моделей. Класифікація математичних моделей. Методи одержання математичних моделей. Перетворення математичних моделей у процесі одержання робочих програм аналізу. Використання методу кінцевих елементів у САПР.

Література: [1] с.25-52; [2] с.225-267; [3] с.44-86; [5], с.91-153.

Знання можливостей технічних і мовних засобів та вміння ними користуватися, є необхідною умовою успішної роботи інженера в САПР. Однак для ефективного використання цих засобів він повинен добре орієнтуватися в питаннях математичного забезпечення САПР, яке визначає внутрішній зміст процедур взаємодії інженера з ЕОМ. Знання особливостей математичних моделей, методів і алгоритмів розв'язку проектних завдань необхідно інженерові для постановки завдань і правильного формулювання вихідних даних, інтерпретації одержуваних результатів, при ухваленні рішення про використання тих або інших компонентів математичного забезпечення в процесі вирішення проектних завдань.

Математичною моделлю (ММ) називають сукупність математичних об'єктів (чисел, змінних, матриць і т.п.) і зв'язків між ними, що відображають найважливіші для проектування властивості технічного об'єкта. Виконання проектних операцій і процедур у САПР засноване на оперуванні ММ. З їхньою допомогою прогнозуються характеристики й оцінюються можливості запропонованих варіантів схем і конструкцій, перевіряється їхня відповідність пропонованим вимогам, проводиться оптимізація параметрів, розробляється технічна документація тощо.

При автоматизації проектування, специфіка проєктованих об'єктів знаходить своє відбиття насамперед у їх ММ. При проектуванні таких складних об'єктів, як автомобіль або трактор, доводиться мати справу з безліччю ММ окремих агрегатів, вузлів, деталей, причому кожний з елементів конструкції вимагає, як правило, розробки декількох ММ, що описують обмежене коло властивостей елемента. Так,

відносно простий, на перший погляд, елемент конструкції, як пневматичне колесо, має окремі ММ для опису його складу, форми, тягових, пружних властивостей, амортизуючих властивостей, що визначають його вантажопідйомність, вплив на керованість і стійкість руху машини та ін.

Незважаючи на різноманіття ММ, застосовуваних у САПР автомобіля й трактора, вони мають багато загального; зокрема, це відноситься до класифікації, вимог, принципів і методів створення ММ і використання їх у процесі моделювання.

Параметр — це величина, що характеризує властивості або режим роботи об'єкта. Серед параметрів об'єкта проектування слід виділити показники ефективності, що є кількісною оцінкою ступеня відповідності об'єкта його цільовому призначенню. Показники ефективності ділять на показники надійності, вартості, маси, габаритних розмірів, точності. Залежно від конкретних умов і типів об'єктів ті або інші з показників мають вирішальне значення. Термін "показник ефективності" найчастіше використовується на вищих ієрархічних рівнях проектування стосовно до складних систем.

Розрізняють вихідні, вхідні й внутрішні параметри.

Вихідні параметри - це показники якості, по яких можна судити про правильність функціонування системи, тобто це поняття аналогічне поняттю "показник ефективності", але застосовується до систем на будь-якому ієрархічному рівні. Вихідні параметри залежать як від властивостей елементів, так і від особливостей зв'язку елементів один з одним, обумовленою структурою (конфігурацією) системи. Кожний новий спосіб зв'язку задає нову структуру й призводить до якісних змін у роботі системи. До таких же змін приводить і зміна типу якогонебудь елемента, якщо новий тип якісно відрізняється від попереднього. Якщо структура системи визначена, її вихідні параметри залежать тільки від параметрів елементів і параметрів зовнішніх умов.

Внутрішні параметри - параметри елементів.

Зовнішні параметри - параметри зовнішнього середовища стосовно об'єкта, що виявляють вплив на його функціонування.

Іншими словами, на кожному ієрархічному рівні вихідні параметри характеризують властивості системи, а внутрішні - властивості елементів. Слід зазначити, що при переході до нового рівня розгляду, внутрішні параметри можуть стати вихідними й навпаки. Наприклад,

геометричні розміри пружного елемента підвіски автомобіля або трактора є внутрішніми параметрами підвіски, а її жорсткість - вихідним параметром. У свою чергу жорсткість підвіски - внутрішній параметр усієї коливальної системи. Типовими прикладами зовнішніх параметрів можуть служити параметри навантаження, вологість і температура навколишнього середовища й т.п.

Рівняння, розв'язок яких потрібно для визначення вихідних параметрів, звичайно є математичним описом функціонування проектованого об'єкта. У цих рівняннях незалежними змінними можуть бути час, частота, просторові координати, а залежними змінними - **фазові змінні** (величини, що характеризують стан об'єкта й тому називані також **змінними стану**). Прикладами фазових змінних можуть служити швидкості, сили, напруги й деформації в механічних системах, тиску й витрати в гідравлічних системах, напруги, струми й заряди в електричних системах і т.п. Вектор фазових змінних задає точку в просторі, названому **фазовим простором**.

Класифікація математичних моделей.

Залежно від характеру відображуваних властивостей об'єкта моделі діляться на структурні й функціональні. У процедурах, що відносяться до процесу проектування, переважає використання математичних моделей, що відбивають тільки структурні властивості об'єкта, наприклад його геометричну форму, розміри, взаємне розташування елементів у просторі. Такі моделі називають **структурними**.

Розрізняють структурні ММ топологічні й геометричні. У топологічних моделях відображаються состав і взаємозв'язок елементів об'єкта. Їх часто використовують для опису об'єктів, що складаються із великої кількості елементів, при розв'язку завдань прив'язки елементів до певних просторових позицій (наприклад, завдання компонування машини) або до відносних моментів часу (наприклад, при розробці технологічного процесу).

Топологічні моделі часто мають форму графів, таблиць, списків і т.п. У геометричних моделях крім відомостей про взаємне розташування елементів об'єкта містяться відомості про форму елементів.

Такі моделі можуть виражатися сукупністю рівнянь ліній і поверхонь, алгебраїчних співвідношень, що описують області, що становлять тіло об'єкта. При описі конструкції, що складається з типових елементів, використовуються графи й списки.

У проектних процедурах, пов'язаних з функціональним аспектом проектування, як правило, використовуються ММ що відбивають закономірності процесів функціонування об'єктів. Такі моделі називають **функціональними**. Типова функціональна модель являє собою систему рівнянь, що описують механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні, теплові процеси. Оскільки характер функціонування об'єкта в більшості випадків неможливо описати без обліку його структури, у функціональних ММ відбиваються також і структурні властивості об'єкта. Функціональні моделі більш складні в порівнянні зі структурними й вважаються основним типом моделей у САПР.

Існує класифікація математичних моделей залежно від ступеня деталізації описуваних властивостей і процесів, що протікають в об'єкті. Розглянемо її стосовно до функціональних ММ.

Блочно-ієрархічний підхід до проектування технічних об'єктів включає в якості своєї основи й ієрархію математичних моделей. На кожному ієрархічному рівні використовуються свої ММ, складність яких погоджена з можливостями аналізу. Розподіл моделей по ієрархічних рівнях відбувається по ступеню деталізації описуваних властивостей і процесів, що протікають в об'єкті. При цьому на кожному ієрархічному рівні використовують свої поняття "система" і "елементи". Так, система k -го рівня розглядається як елемент на сусідньому більш високому $(k-1)$ -м рівні абстрагування.

Структуру об'єкта на будь-якому ієрархічному рівні можна представити у вигляді сукупності елементів і зв'язків між ними. Властивості кожного елемента описуються математичною **моделлю елемента**. Вона являє собою співвідношення, що зв'язують зовнішні, стосовно елемента, фазові змінні. Деякі підмножини елементів з їхніми зв'язками можна по яких-небудь загальних ознаках об'єднати в групи або **блоки**.

Математична модель, отримана безпосереднім об'єднанням моделей елементів блоку в загальну систему рівнянь, називається **повною моделлю** блоку. Характерною її особливістю є присутність у ній вектора внутрішніх фазових змінних, тобто вона описує й стан кожного з елементів блоку.

При великій кількості елементів порядок системи рівнянь стає надмірно великим і потрібні спрощення. При переході до більш високого ієрархічного рівня спрощення засновані на виключенні з моделі вектора внутрішніх змінних. Така модель називається **макромоделлю**.

Вона вже не описує процеси усередині блоку, а характеризує тільки процеси взаємодії даного блоку з іншими в складі системи блоків. Поняття макромоделей має істотне значення в блочно-ієрархічному підході до проектування. Заміна повних моделей блоків їх макромоделями дозволяє перейти на більш високий ієрархічний рівень, де блок нижчого рівня виступає вже в якості елемента нового, укрупненого блоку (або системи повністю).

Існує також поняття багаторівневих моделей, коли одні блоки системи описуються повними моделями, а інші - макромоделями.

Залежно від складності об'єкта при його проектуванні використовують більше або менше число рівнів абстракції. Число використовуваних ієрархічних рівнів при проектуванні конкретних об'єктів залежить від традицій підприємства, прийнятої організації САПР, можливостей використовуваного математичного й програмного забезпечення. Збільшення числа рівнів дозволяє використовувати більш прості ММ на кожному з них, однак ускладнює узгодження результатів, отриманих на різних рівнях.

В ієрархії функціональних моделей для більшості спроектованих складних об'єктів об'єднання рівнів, споріднених по характеру використовуваного математичного апарату, приводить до утвору трьох укрупнених рівнів: мікро-, макро- і метарівень.

На мікрорівні використовують математичні моделі, що описують фізичний стан і процеси в суцільних середовищах. Фазові змінні є в цьому випадку функціями декількох незалежних змінних, таких, як просторові координати й час, при цьому й простір, і час безперервний.

Прикладами таких моделей служать диференціальні рівняння в частинних похідних - рівняння пружності, електродинаміки, теплопровідності, гідродинаміки, газової динаміки, які описують напружено-деформований стан деталей механічних конструкцій, поля електричного потенціалу й температури тощо.

До типових фазових змінних на мікрорівні відносяться механічні напруги й деформації, тиску, температури, електричні потенціали, концентрації часток, щільності струмів. У зв'язку з обліком характеру впливів і фазових змінних, розподілених у просторі, ці моделі називають **розподіленими**. Подібні моделі використовуються, наприклад, для визначення розподілу напруг у деталях конструкції, розподілу температури по поверхні й усередині накладок фрикційного зчеплення в процесі його включення, дослідження процесу взаємодії пневматично-

го колеса з дорогою.

Аналіз розподілених моделей зводиться до розв'язку крайових завдань математичної фізики й представляє значні труднощі обчислювального характеру. Використання їх обмежується випадками об'єктів з малим числом ділянок. Ускладнення завдання при збільшенні довжини просторових і тимчасових областей приводить до необхідності переходу до наступного ієрархічного рівня — макрорівню.

На макрорівні проводиться дискретизація простору з виділенням у якості елементів окремих деталей. Така дискретизація означає перехід від розподілених моделей до **зосереджених**, при цьому із числа незалежних змінних виключають просторові координати. Елементами цього рівня є об'єкти, які на мікрорівні розглядалися як системи (наприклад, вали, пружини, елементи опору). Параметри цих елементів, будучи на мікрорівні вихідними, стають внутрішніми. Прикладами вихідних параметрів макрорівня є дотична сила тяги колеса, час і робота буксування фрикційного зчеплення, рівень навантаження в окремих елементах конструкції.

Математичні моделі на макрорівні являють собою системи звичайних диференціальних рівнянь, які в окремих випадках розв'язку статичних завдань перетворюються в системи алгебраїчних або трансцендентних рівнянь. Для їхнього одержання й розв'язку використовують відповідні чисельні методи. У якості фазових змінних фігурують сили, швидкості, температури, витрати, електричні напруги, струми і т.п. Вони характеризують прояви зовнішніх властивостей елементів при їхній взаємодії між собою й зовнішнім середовищем.

Зі збільшенням числа елементів системи можливості розв'язку завдань із використанням ММ макрорівня різко звужуються. У цьому випадку доцільний перехід до наступного, більш високого ієрархічного рівня.

На метарівні за допомогою подальшого абстрагування від характеру фізичних процесів вдається одержати прийнятний по складності опис протікаючих процесів у проєктованих об'єктах. Математичні моделі на метарівні — це системи звичайних диференціальних рівнянь, системи алгебраїчних рівнянь, системи логічних рівнянь, імітаційні моделі систем масового обслуговування.

Тут роль елементів і внутрішніх параметрів виконують системи й вихідні параметри попереднього ієрархічного рівня. Так, елементами автомобіля або трактора на метарівні можна вважати двигун, коро-

бку передач, ведучий міст, колесо. Моделювання на метарівні дозволяє виконати тягово-динамічний розрахунок автомобіля, тяговий розрахунок трактора, розв'язати питання компоновання машини, виконати основні розрахунки на міцність і опір втомі деталей.

Математичні моделі розрізняють також залежно від форми їх представлення.

Інваріантна форма - запис співвідношень моделі за допомогою традиційної математичної мови безвідносно до методу розв'язку рівнянь моделі.

Алгоритмічна форма - запис співвідношень моделі й обраного чисельного методу розв'язку у формі алгоритму. Обчислення значень шуканих величин проводиться шляхом розв'язку систем рівнянь.

Аналітична форма - запис моделі у вигляді результату аналітичного розв'язку вихідних рівнянь моделі. При цьому моделі в аналітичній формі звичайно являють собою явні вираження вихідних параметрів як функцій внутрішніх і зовнішніх параметрів. З погляду зручності реалізації на ЕОМ вони вигідно відрізняються від інших, однак їх складно й не завжди можливо одержати.

Схемна форма (називана також **графічною**) - представлення моделі на деякій графічній мові, наприклад мовою графів, еквівалентних схем, діаграм і т.п. Графічні форми зручні для сприйняття людиною. Використання таких форм можливо при наявності правил однозначного тлумачення елементів креслень і їх перекладу на мову інваріантних або алгоритмічних форм.

Математичні моделі в алгоритмічній і аналітичній формах називають відповідно **алгоритмічними** й **аналітичними**. Серед алгоритмічних моделей важливий клас становлять **імітаційні моделі**, призначені для імітації процесів, що відбуваються в об'єкті, при завданні різних залежностей вхідних впливів від часу. Власне імітацію названих процесів називають **імітаційним моделюванням**. Результат імітаційного моделювання - залежності фазових змінних у вибраних елементах системи від часу. Прикладами імітаційних моделей можуть служити моделі розгону й гальмування автомобіля й трактора, входу автомобіля в поворот, переїзду транспортного засобу через перешкоду, модель робочого циклу бульдозера і т.п.

Вимоги до математичних моделей. Основними вимогами, висуваними до ММ, є вимоги адекватності, універсальності й економіч-

ності.

Адекватність. Модель вважається адекватною, якщо вона відбиває задані властивості об'єкта із прийнятною точністю. Точність визначається як ступінь збігу передвщених за допомогою моделі значень вихідних параметрів об'єкта з дійсними значеннями цих параметрів. Точність моделі оцінюється відносною погрішністю.

Універсальність. Ступінь універсальності ММ характеризує повноту відображення в них властивостей реального об'єкта й визначається можливістю використання моделі для аналізу більш-менш численної групи однотипних об'єктів, а також числом доступних для аналізу режимів функціонування. Використання машинних методів проектування стане незручним, якщо в процесі аналізу об'єкта при кожній зміні режиму функціонування користувачеві буде потрібна зміна ММ.

Універсальність моделі в першу чергу залежить від числа й складу вихідних параметрів, що враховуються в моделі зовнішніх і вихідних параметрів. Збільшення їх розширює застосовність моделі, але суттєво ускладнює її розробку. Проте ступінь використання універсальних ММ у САПР є одним з основних критеріїв її вибору.

Економічність. Економічність ММ характеризується витратами обчислювальних ресурсів для її реалізації, а саме витратами машинного часу й пам'яті. Загальні витрати на виконання в САПР якої-небудь проектної процедури залежать як від особливостей обраних моделей, так і від методів розв'язку.

У більшості випадків при реалізації чисельного методу відбуваються багаторазові звертання до моделі елемента, що входить до складу модельованого об'єкта. Тоді економічність моделі елемента зручно характеризувати витратами машинного часу, що виходять при звертанні до моделі, а число звертань до моделі повинне враховуватися при оцінці економічності методу вирішення.

Економічність моделі по витратах пам'яті оцінюється обсягом оперативної пам'яті, необхідної для реалізації моделі.

Вимоги широких областей адекватності, високому ступеня універсальності, з одного боку, і високої економічності, з іншої, є суперечливими. Найкраще компромісне задоволення цих вимог виявляється неоднаковим у різних застосуваннях. Дана обставина обумовлює використання в САПР багатьох моделей для об'єктів того самого типу.

Методи одержання математичних моделей.

Математична модель технічного об'єкта в САПР звичайно створюється користувачем на основі вже розроблених і наявних у бібліотеці ММ елементів і відповідного програмного забезпечення.

Одержання моделей елементів (моделювання елементів) у загальному випадку - процедура неформалізована. Основні рішення, що стосуються вибору виду математичних співвідношень, характеру використовуваних змінних і параметрів, ухвалює розроблювач моделі. У той же час такі операції, як розрахунки чисельних значень параметрів моделі, визначення областей адекватності та ін., алгоритмізовані й вирішуються на ЕОМ. Тому моделювання елементів звичайно виконується фахівцями конкретних технічних областей за допомогою традиційних засобів експериментальних досліджень і засобів САПР.

Методи одержання функціональних моделей елементів ділять на теоретичні й експериментальні.

Теоретичні методи засновані на вивченні фізичних закономірностей, що протікають в об'єкті процесів, визначенні відповідного до цих закономірностей математичного опису, обґрунтуванні й прийнятті припущень, що спрощують, виконанні необхідних викладень і приведенні результату до прийнятої форми відображення моделі. Основу одержуваних моделей звичайно становлять системи рівнянь, що відбивають залежності фазових змінних. Такі моделі найчастіше відносяться до алгоритмічних і адекватні в порівняно широких діапазонах зміни змінних.

Експериментальні методи засновані на використанні експериментально отриманих залежностей між параметрами й фазовими змінними об'єкта. Експерименти при цьому можуть проводитися на самих об'єктах, на їхніх фізичних моделях (макетах і стендах) або з використанням їх повних ММ. Для цілей моделювання використовуються пасивні й активні експерименти. При пасивних експериментах умови досліді залишаються постійними.

У випадку використання активного цілеспрямованого експерименту досліді проводяться по заздалегідь розробленому плану, що визначає кількість дослідів і значення факторів у кожному досліді. Залежно від методів планування переваги активних експериментів перед пасивними можуть виражатися в скороченні термінів розробки моделі й в одержанні оптимального положення області її адекватності.

У процесі перетворення експериментальних даних у ММ мож-

ливі їхня апроксимація, усереднення, статистична обробка. Останнє характерно при постановці пасивних експериментів, коли зв'язок між вихідними й зовнішніми параметрами носить не функціональний, а статистичний характер. Для одержання моделі в такій ситуації часто застосовують регресійний аналіз.

Експериментальні методи одержання ММ зручні для моделювання безінерційних об'єктів з відносно гладкими залежностями між змінними. Результатом застосування цих методів стають моделі, що мають приватний характер.

Незважаючи на неформальний характер більшості операцій, використовуваних при розробці моделей елементів різних об'єктів, є ряд загальних положень і прийомів. Досить загальний характер мають методика макромодельовання, математичні методи планування експериментів, а також алгоритми формалізованих операцій розрахунків чисельних значень параметрів.

У загальному випадку **методика розробки ММ елементів об'єкта** містить у собі етапи, наведені нижче:

- а) вибір властивостей об'єкта, які підлягають відбиттю в моделі. Цей вибір заснований на аналізі можливих застосувань моделі й визначає ступінь її універсальності;
- б) збір апріорної інформації про властивості модельованого об'єкта. Джерелами відомостей, що збираються, можуть служити знання й досвід інженера, науково-технічна література, насамперед довідкова, ММ і результати експлуатації існуючих аналогічних об'єктів і т.п.;
- в) синтез структури ММ - одержання загального виду рівнянь моделі без конкретизації чисельних значень параметрів, що фігурують у них. Часто проектувальникові моделі зручніше оперувати не рівняннями, а еквівалентними схемами, за допомогою яких інженерові простіше встановлювати фізичний зміст різних елементів ММ;
- г) визначення чисельних значень параметрів моделі. Дане завдання вирішується як завдання мінімізації погрішності моделі заданої структури. Можливі наступні прийоми виконання цього етапу:
 - 1) використання специфічних розрахункових співвідношень із обліком зібраних на етапі 2 відомостей;
 - 2) розв'язок екстремального завдання, у якому в якості ці-

льової функції вибирається ступінь збігу відомих значень вихідних параметрів об'єкта з результатами використання моделі, а керованими параметрами є параметри моделі;

- 3) проведення експериментів і обробка отриманих результатів;
- д) оцінка точності отриманої моделі й визначення області її адекватності. Для оцінки точності повинні використовуватися значення, які не фігурували в завданні мінімізації погрішності. При незадовільних результатах оцінки виконують ітераційне наближення до бажаного результату повторенням етапів 3-5;
- е) представлення отриманої моделі у формі, прийнятої у використуваній бібліотеці моделей.

Наявність у методиці макромодельовання евристичних і формальних операцій обумовлює доцільність розробки моделей елементів у діалоговому режимі з ЕОМ. Мова взаємодії людини з ЕОМ повинна дозволити оперативне введення вихідної інформації про структуру моделі, про відомі характеристики й параметри об'єкта, про план експериментів.

Діалогове модельовання повинне мати програмне забезпечення, у якому реалізовані алгоритми статистичної обробки результатів експериментів, розрахунків вихідних параметрів еталонних моделей і створюваних макромodelей, у тому числі розрахунків параметрів по методах планування експериментів і регресійного аналізу, алгоритми методів пошуку екстремуму та ін.

Користувач, що розробляє модель, повинен мати можливість міняти рівняння моделі, задавати їх в аналітичній, схемній або табличній формах, звертатися до потрібних підпрограм і тим самим оцінювати результати своїх дій, наближаючись до одержання моделі з необхідними властивостями.

Однак не слід вважати, що необхідність використання при одержанні моделей елементів в основному неформальних методів знижує рівень автоматизації виконання більшості проектних процедур. Справа в тому, що при моделюванні будь-якого технічного об'єкта використовується типовий набір елементів, причому кількість типів елементів в об'єктах певного призначення, як правило, суттєво менше кількості самих елементів. Більше того, ці типи елементів повторюються в

багатьох проєктованих об'єктах не тільки аналогічного, але й іншого призначення, і навіть в об'єктах іншої фізичної структури.

Тому одержання моделей елементів потрібно однократно, при багаторазовому їхнім використанні в моделях різних об'єктів; це дозволяє для кожного типу елементів ретельно відробити ряд моделей, що різняться показниками точності, економічності й універсальності.

Моделі всіх уніфікованих типів елементів у САПР даної предметної області зводять у бібліотеку моделей елементів. При експлуатації САПР повсякденно розв'язуваними завданнями стають завдання формування й аналізу моделей систем об'єкта.

На відміну від процедур одержання ММ елементів, процедури одержання моделі блоку або всього об'єкта можуть бути повністю формалізовані. Використовувані при цьому методи інваріантні стосовно багатьох областям техніки.

Прикладами можуть служити методи переміщень у механіці, методи вузлових потенціалів в електротехніці та ін. При моделюванні на метарівні часто ухвалюються допущення про односпрямованість поширення зовнішніх впливів від входів до виходів елементів, тобто передбачається, що зміна стану елемента-навантаження не передається до елемента-джерела й усі зовнішні зв'язки розділяються на вхідні й вихідні. На макрорівні подібні допущення найчастіше неправомірні. Використовувані тут методи більш складні в реалізації, їх інваріантність обумовлена наявністю аналогій фізичних систем, тому такі методи називають **методами моделювання на основі прямої аналогії**.

Перетворення математичних моделей у процесі одержання робочих програм аналізу.

Процедура аналізу в САПР полягає у визначенні властивостей об'єкта, відбиваних у його ММ, на основі розв'язку рівнянь. Реалізація ММ на ЕОМ має на увазі вибір чисельного методу розв'язку рівнянь і перетворення їх відповідно до особливостей обраного методу. Кінцева мета перетворень — одержання робочої програми у вигляді послідовності елементарних дій над числами (арифметичних і логічних операцій).

Усі перетворення вихідної ММ у послідовність елементарних дій ЕОМ виконуються автоматично по спеціальних програмах, створеним розроблювачем САПР. Користувач САПР повинен лише вказати, які програми з наявних він прагне використовувати. Однак

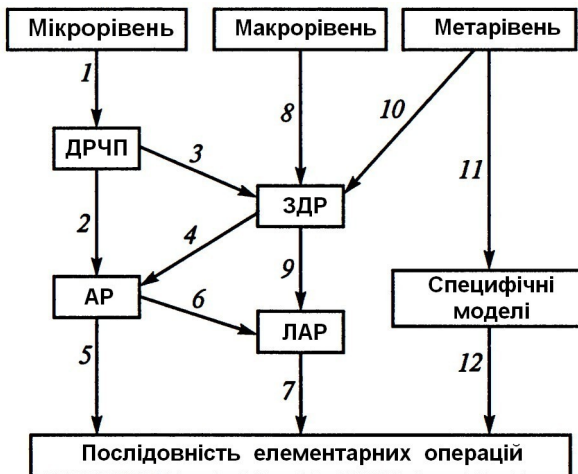
йому важливо знати методи розв'язку рівнянь, насамперед для правильного вибору прикладних програм у конкретних ситуаціях.

Звичайно в САПР є кілька програм однакового цільового призначення, але з різними реалізованими в них чисельними методами. Програми різняться витратами машинного часу й пам'яті, імовірністю одержання розв'язку, точністю результатів.

Значення перерахованих показників залежать від багатьох факторів. Їхній успішний прогноз при аналізі конкретного заданого об'єкта заснований на знанні особливостей чисельних методів.

Крім того, знання чисельних методів дозволяє інженерові в необхідних випадках становити свої оригінальні програми розв'язку проектних завдань. При цьому для інженера важливо не абстрактне знання чисельних методів, а знання показників ефективності й резервів підвищення ефективності методів в умовах їх застосування до завдань проектування.

Докладно ці методи розглядаються при вивченні дисциплін "Математика" і "Інформатика". Процес перетворення ММ, що відносяться до різних ієрархічних рівнів, ілюструє рис. 4.1.



АР – алгебраїчне рівняння; ЗДР – звичайне диференційне рівняння;
 ЛАР – лінійне алгебраїчне рівняння;
 ДРЧП – диференційне рівняння у частинних похідних

Рисунок 4.1 – Перетворення математичної моделі

Гілці 1 відповідає постановка завдання, що відноситься до мікрорівня. Опис об'єкта в цьому випадку звичайно зводиться до складання системи диференціальних рівнянь у частинних похідних (ДРЧП), чисельні методи рішення яких засновані на дискретизації змінних і алгебраїзації завдання. Дискретизація полягає в заміні змінних кінцевою безліччю їх значень у заданих просторовому й тимчасовому інтервалах, алгебраїзація - у заміні похідних алгебраїчними співвідношеннями.

Використовують два основні підходи до дискретизації й алгебраїзації завдання, що становлять сутність методів кінцевих різниць і кінцевих елементів.

Якщо ДРЧП стаціонарні (описують статичний стан і час не фігурує в якості незалежної змінної), дискретизація й алгебраїзація перетворюють систему ДРЧП у систему алгебраїчних рівнянь (АР) - гілка 2 (рис. 4.1). Якщо система ДРЧП нестационарна, дискретизацію й алгебраїзацію можна представити із двох етапів: усунення похідних по просторових координатах (гілка 5), у результаті чого виходить система звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР), і усунення похідних за часом (гілка 4 або гілка 9).

Для розв'язку ЗДР при заданих початкових умовах розроблена велика кількість чисельних методів. Як правило, ці методи є покроковими: на кожному кроці інтегрування проводиться алгебраїзація рівнянь за допомогою апроксимуючих виражень, що зв'язують похідні змінних за часом у деякій точці зі значеннями змінних у цій же точці й в одній або декількох сусідніх точках. Кожний метод використовує своє апроксимуюче вираження й алгоритм його обчислення.

З погляду користувача методи відрізняються ступенем універсальності, швидкістю обчислень і вимогами до обсягу оперативної пам'яті. У САПР широко використовуються методи Гіра, Адамса й Рунге-Кутта.

Використання методу кінцевих елементів у САПР.

Метод кінцевих елементів (МКЕ) в автоматизованому проектуванні займає особливе місце. Немає області проектування, де б цей метод не застосовувався. Метод кінцевих елементів є чисельним методом розв'язку диференціальних рівнянь, що зустрічаються в різних галузях техніки.

За допомогою методу кінцевих елементів вирішуються завдання

поширення тепла, завдання пружних деформацій, завданням гідромеханіки, зокрема, завдання плинину рідини - усі ті завдання, коли можна суцільне середовище замінити еквівалентною шарнірною системою.

Основна ідея методу кінцевих елементів полягає в тому, що будь-яку безперервну величину, таку, як температура, тиск і переміщення, можна апроксимувати дискретною моделлю, яка будується на безлічі кусочно-безперервних функцій, визначених на кінцевому числі підобластей. Кусочно-безперервні функції визначаються за допомогою значень безперервної величини в кінцевому числі точок розглянутої області.

У загальному випадку безперервна величина заздалегідь невідома, і потрібно визначити значення цієї величини в деяких внутрішніх точках області. Отже, при побудові дискретної моделі безперервної величини діють у такий спосіб:

- у розглянутій області фіксується кінцеве число точок. Ці точки називаються вузловими точками або просто вузлами.
- значення безперервної величини в кожній вузловій точці вважається змінною, яка повинна бути визначена.
- область визначення безперервної величини розбивається на кінцеве число підобластей, названих елементами. Ці елементи мають загальні вузлові точки й у сукупності апроксимують форму області.

Безперервна величина апроксимується на кожному елементі поліномом, який визначається за допомогою вузлових значень цієї величини. Для кожного елемента визначається свій поліном, але поліноми підбираються таким чином, щоб зберігалася безперервність величини уздовж границь елемента.

Основна концепція методу кінцевих елементів може бути наочно проілюстрована на одновимірному прикладі розподілу температури в стрижні, показаному на рис. 4.2. Розглядається безперервна величина $T(x)$, область визначення - відрізок OL уздовж осі x . Фіксовані й прономеровані п'ять точок на осі x .

Це вузлові точки; зовсім не обов'язково розташовувати їх на рівній відстані одна від одної. Очевидно можна ввести в розгляд і більш п'яти точок. Значення $T(x)$ у цьому випадку відомі в кожній вузловій точці. Ці фіксовані значення представлені графічно на рисунку й позначені у відповідності з номерами вузлових точок через $T_1, T_2, \dots, T_5$.

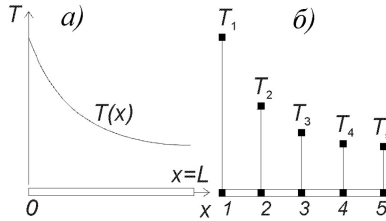


Рисунок 4.2 - Розподіл температури в одномірному стрижні (а), вузлові значення й передбачувані значення $T(x)$ (б)

У загальному випадку розподіл температури невідомо й ми прагнемо визначити значення цієї величини в деяких точках. Область розбивається на елементи, на кожному з яких визначається відповідна функція елемента. Вузлові значення $T(x)$ повинні бути "відрегульовані" (визначені) таким чином, щоб забезпечувалося "найкраще" наближення до дійсного розподілу температури.

Це "регулювання" здійснюється шляхом мінімізації деякої величини, пов'язаної з фізичною сутністю завдання. Якщо розглядається завдання розподілу тепла, то мінімізується функціонал, пов'язаний з відповідним диференціальним рівнянням. Процес мінімізації зводиться до розв'язку систем лінійних алгебраїчних рівнянь щодо вузлових значень $T(x)$.

При розв'язку завдань методом кінцевих елементів, використовуються елементи різних типів. Найпростіший серед елементів є одномірний елемент, зображуваний у вигляді відрізка. Для побудови дискретної моделі двовимірної області використовуються два основні сімейства елемента: трикутники й чотирикутники.

Для моделі тривимірної області використовують тривимірні елементи - тетраедр і паралелепіпед, у них елементи обмежені площинами, але елементи більш високих порядків можуть мати на границях криволінійні поверхні (рис. 4.3).

Розв'язок завдання переносу тепла в стрижні за допомогою методу кінцевих елементів проводиться шляхом складання диференціального рівняння для розподілу температури усередині стрижня із вказівкою граничних умов. Далі система лінійних рівнянь вирішується одним з відомих чисельних методів.

Формування сітки. Для розв'язку завдання за допомогою мето-

ду кінцевих елементів проводиться розбивка області тіла деталі на елементи (проводиться нанесення сітки). Нанесення сітки проводять за певними правилами залежно від розв'язуваного завдання.

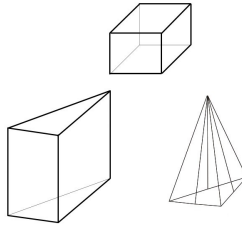


Рисунок 4.3 - Типи тривимірних кінцевих елементів

Формування сітки ілюструє наступний приклад. Потрібно визначити напруги, що виникають у стрижні круглого перетину, показаного на рис. 4.4, при його розтяганні.

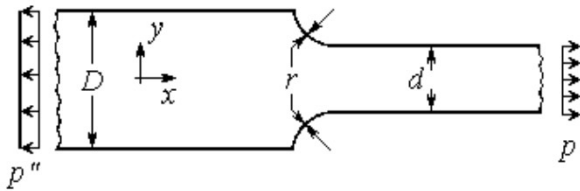


Рисунок 4.4 - Осьове навантаження деталі

Оскільки деталь кругла й напруги в ній розподілені симетрично, тому розбивка проводиться в осьовій площині й на половині деталі (рис. 4.5). Деталь має концентратори напруги в місцях переходу діаметрів, тому в зоні концентрації напруги сітка наноситься більш щільно. Сітка повторює форму деталі, граничні елементи перебувають на поверхні деталі.

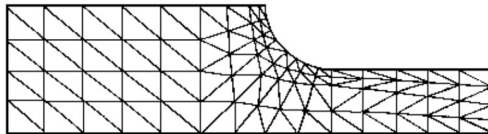


Рисунок 4.5 – Нанесення сітки на деталь

Метод кінцевих елементів, як найбільш універсальний метод, заслужено одержав широке поширення, оскільки з його допомогою

вирішуються завдання практично будь-якої складності, при одночасному високому ступені автоматизації розрахунків і аналізу їх результатів. Приклади використання методу кінцевих елементів приведено на рис. 4.6 (система CATIA), та на рис. 4.7 (система NX).

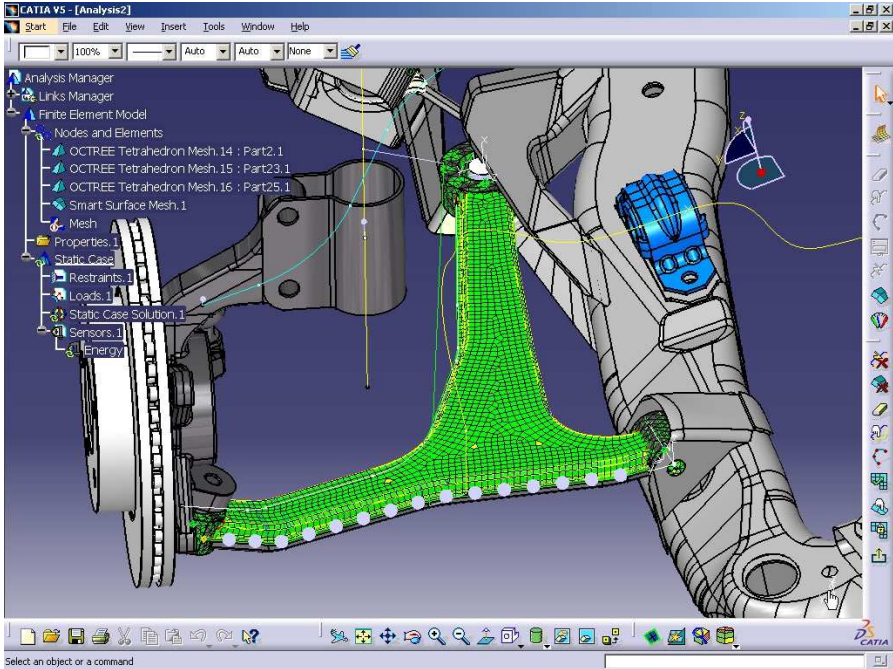


Рисунок 4.6 – Кінцево-елементний аналіз нижнього ричага підвіски автомобіля безпосередньо під час моделювання в системі CATIA

Сучасні системи 3D моделювання такі як SolidWorks, Solidedge, PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/ENGINEER), NX (колишня назва Unigraphics), CATIA - розраховані на одночасну роботу по підготовці геометричної моделі й проведення аналізу методом кінцевих елементів. Такий підхід значно скорочує тривалість циклу "проекування - аналіз - зміна", і більш надійний (виключає втрату даних), оскільки не вимагає передачі й перетворення даних між різними програмами, наприклад у спеціалізовану систему кінцево-елементного аналізу ANSYS.

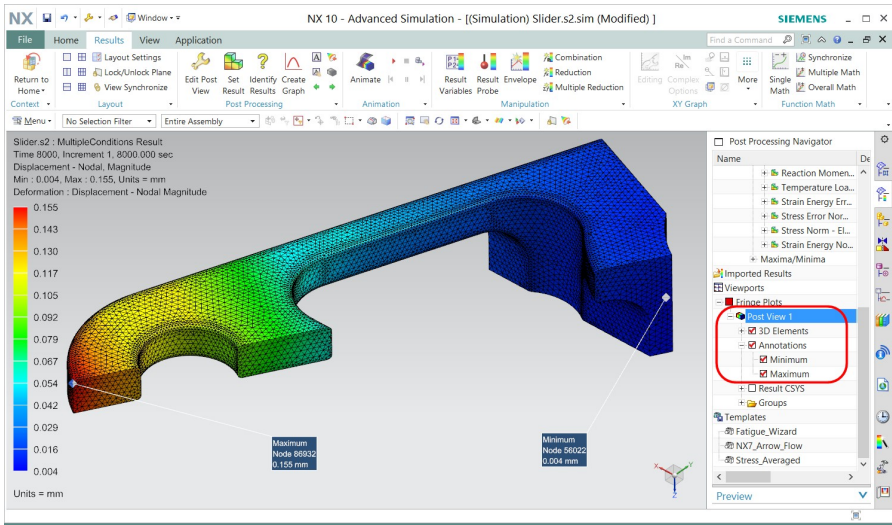


Рисунок 4.7 – Вікно системи NX компанії Siemens (колишня назва "Unigraphics") під час виконання аналізу деталі методом кінцевих елементів

Питання для самоперевірки

1. Що таке математична модель і навіщо вона потрібна?
2. Що таке параметр?
3. Які існують параметри?
4. Наведіть типові приклади зовнішніх параметрів.
5. Як класифікують математичні моделі?
6. Розкажіть про аналітичну форму запису математичної моделі.
7. Які вимоги висувають до математичних моделей?
8. Коли математична модель вважається адекватною?
9. Що таке універсальність математичної моделі?
10. Чим характеризується економічність математичної моделі?
11. Назвіть методи одержання математичних моделей.
12. Перелічіть загальні етапи розробки математичних моделей.
13. В чому полягає реалізація математичної моделі на ЕОМ?
14. Розкажіть про використання методу кінцевих елементів у САПР.
15. Коротко розкажіть про перетворення математичних моделей для одержання робочих програм аналізу на ЕОМ.

ЛЕКЦІЯ № 5. ПРОГРАМНЕ ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

План лекції. Програмне забезпечення САПР. Властивості програмного забезпечення (ПЗ) САПР. Структура ПЗ САПР. Загальносистемне ПЗ. Прикладне ПЗ. Відкриті системи й об'єктно-орієнтований підхід. Класифікація банків даних. Користувачі банку даних і рівні доступу. Забезпечення захисту даних у базі. Особливості баз даних САПР.

Література: [1], с.52-67; [2], с.51-95; [3], с.87-131; [5], с.271-275.

Програмне забезпечення САПР.

Розробка програмного забезпечення (ПЗ) є найбільш тривалою й дорогою частиною проектування САПР. Від властивостей ПЗ значною мірою залежать можливості й показники ефективності САПР.

Властивості програмного забезпечення САПР. До ПЗ САПР пред'являються вимоги економічності, зручності використання, надійності, універсальності, відкритості й мобільності.

Економічність ПЗ оцінюється витратами обчислювальних ресурсів - машинного часу і оперативної пам'яті. Недостатня економічність ПЗ звичайно виявляється основним фактором, що обмежує можливості вичерпного аналізу, оптимізації й структурного синтезу проєктованих об'єктів.

Зручність використання ПЗ визначається його надійністю, наявністю проблемно-орієнтованих вхідних мов, засобів діагностики помилок користувача й ефективного інтерфейсу.

Надійність ПЗ - здатність виконувати задані функції в заданих умовах. Основний показник надійності - імовірність одержання правильного результату.

Універсальність ПЗ характеризується обмеженнями на застосування ПЗ. Ці обмеження можуть ставитися до переліку виконуваних проєктних операцій і процедур.

Відкритість ПЗ характеризується можливостями внесення в нього змін у процесі експлуатації. Поняття відкритості близько до поняття адаптованості, під яким мається на увазі можливість модифікації ПЗ для підтримки його працездатності й ефективності в мінливих

умовах застосування. Відкрите програмне забезпечення дозволяє користувачам набувати або надбудовувати програми залежно від своїх потреб, наприклад, за допомогою підключення програмних модулів, написаних на мовах високого рівня або за рахунок єдиної інформаційної бази.

Мобільність ПЗ визначається легкістю перебудови ПЗ, що експлуатувалися на ЕОМ з однієї системою команд на машини з іншою системою команд. Використання мов високого рівня створює передумови для створення мобільних програм.

Структура ПЗ САПР. Програмне забезпечення САПР ділиться на загальносистемне, базове й прикладне.

Загальносистемне ПЗ презентовано операційними системами, які розробляються для різних застосувань ЕОМ, і специфіку САПР не відбиває.

Основні функції загальносистемного ПЗ САПР: керування процесом обчислень; введення, вивід і обробка інструкцій користувачів; діалоговий взаємозв'язок з користувачем у процесі проектування; зберігання, пошук, аналіз, модифікація даних, захист їх цілісності; розв'язок загальносистемних завдань; контроль і діагностика в процесі розв'язку завдань проектування.

Базове ПЗ являє собою програмне ядро САПР, на основі якого вибудовується прикладне програмне забезпечення. Типовими прикладами базового ПЗ САПР є - креслярсько-конструкторська система (графічний редактор), СУБД і т.п.

Прикладне ПЗ складають пакети прикладних програм для виконання різних проектних процедур.

Загальносистемне програмне забезпечення. Типова структура загальносистемного програмного забезпечення показана на рис. 5.1.

Операційна система (ОС) є обов'язковим невід'ємним доповненням ЕОМ, організовує виконання програм і взаємодію користувача з комп'ютером. Інші компоненти є необов'язковими. Їхній состав визначається потребами користувача.

Сервісні системи розширюють можливості ОС, надаючи користувачеві, а також виконуваним програмам набір додаткових послуг. Деякі сервісні системи такі, що змінюють вигляд ОС до невпізнанності, а тому іноді називаються операційними системами (інтерфейсні системи, наприклад, Total Comander, Windows).



Рисунок 5.1 - Структура загальносистемного програмного забезпечення

Інструментальні системи призначені для розробки програмного забезпечення, хоча частина з них може застосовуватися й для розв'язку прикладних завдань.

Системи технічного обслуговування призначені для полегшення тестування устаткування й пошуку несправностей.

ОС класифікуються по наступних ознаках:

- по кількості користувачів, що одночасно обслуговуються системою;
- по числу процесів, які можуть одночасно виконуватися під керуванням ОС.

Якщо система багатокористувацька, то звичайно вона й багато-задачна, але не навпаки.

Є наступні класи ОС: CP/M, DOS, OS/2, UNIX, ОС ЕС (єдина система), Windows. Інтерфейсна система Windows 3.0 (оболонка) з'явилася в 1990 році. Система Windows 95 з'явилася в 1995 році, Windows 97 в 1997 році, Windows 2000 в 1999 році.

Система CP/M (Control Program for Microcomputers) розроблена

в 1974 р. Це однозадачна ОС. Система MS-DOS (Microsoft Disk Operating System) розроблена в 1981 році. Це однозадачна ОС.

Система OS/2 (Operating System/2) розроблена в 1987 році. Є багатозадачною ОС. Система UNIX була розроблена в 1969 році для потужніших ПЕОМ. Є багатокористувацькою системою.

Донедавна самі потужні САПР працювали на Unix. Але зараз усе більше виробників важких систем переносять свої програми під Windows.

Прикладне програмне забезпечення. При структуруванні ПЗ використовують поняття пакети прикладних програм, програмних систем, комплексів і компонентів. *Пакет прикладних програм* – це сукупність програм, об'єднаних спільністю застосування, тобто можливістю спільного виконання або орієнтацією на певний клас завдань. *Компоненти* – це складові частини програм, що мають своє функціональне призначення.

Відкриті системи й об'єктно-орієнтований підхід.

Відкритість систем досягається шляхом міжнародної й національної стандартизації апаратних і програмних інтерфейсів обчислювальних систем. У зв'язку з бурхливим розвитком технологій глобальних комунікацій відкриті системи здобувають ще більше значення й масштабність. У цей час усі додатки створюються у форматі архітектури "клієнт-сервер".

Насамперед, відкриті системи забезпечують природний розв'язок проблеми покоління апаратних і програмних засобів. Виробникам таких засобів не обов'язково вирішувати всі проблеми заново, вони можуть, принаймні, тимчасово продовжувати комплектувати системи, використовуючи існуючі компоненти. На основі стандартизації програмних інтерфейсів розроблювачі організують системи по модульному принципу.

Перевагою для користувачів є те, що вони можуть поступово замінювати компоненти системи більш досконалішими, не обмежуючи працездатність усієї системи. Це сприяє поступовому нарощуванню обчислювальних, інформаційних і інших потужностей своєї системи, не порушуючи її єдності.

Відкриті системи дозволяють користувачам позбутися залежності від конкретних розроблювачів САПР. Орієнтуючись на продукцію однієї компанії, користувач має можливість обирати будь-який програмний продукт іншої компанії, що дотримує загальноприйняті стан-

дарті. Це стосується й апаратних засобів. Такі системи дають можливість використання готових інформаційних ресурсів, наявних в інших системах (фірмах).

Звичайно загальними властивостями відкритих систем є:

- розширюваність/масштабованість;
- мобільність (переносимість);
- інтероперабельність (здатність до взаємодії з іншими системами);
- дружність до користувача, у т.ч. - легка керуваність.

У зв'язку із застосуванням принципу відкритих систем досить перспективним напрямком представляється об'єктно-орієнтований стиль проектування й програмування.

У сучасних системах об'єктно-орієнтоване програмування використовується для виконання різних процедур, так, наприклад, для створення користувацького інтерфейсу, у якому самі об'єкти знають, які операції до них застосовані, яка операція повинна виконуватися для об'єкта даного типу і як її результати повинні позначатися на оточенні.

Завдяки відкритості програмного забезпечення САПР і операційних систем, існує можливість розробки додатків для САПР, використовуючи можливості самої операційної системи. Так, наприклад, розроблювачі додатків мають можливість доступу до всіх команд Windows через документовану бібліотеку DLL і іншим об'єктам. Відпала необхідність програмувати поверх повномасштабного пакета САПР або операційної системи, можна вибрати ті функції, які потрібні конкретному додатку, наприклад доступ до різних файлів, вивід на дисплей, малювання, інтерфейс із базою даних.

Інформаційне забезпечення САПР.

Основу інформаційного забезпечення САПР становлять дані, якими користуються проектувальники в процесі проектування безпосередньо для виробітку проектних рішень. Ці дані можуть бути представлені у вигляді тих або інших документів на різних носіях, що містять відомості довідкового характеру про матеріали виробів, комплектуючі, відомості із ДСТУ і нормалей, типові проектні рішення, параметри елементів, відомості про стан поточних розробок у вигляді проміжних і остаточних проектних рішень, структур і параметрів проєктованих об'єктів і т.п.

Дані можуть мати вигляд цифр, тексту, таблиць, графічного зо-

браження, бути первинними або похідними (розрахунковими); відноситися до нормативно-довідкової або оперативної інформації; призначатися для обліку або ухвалення рішення.

При цьому дані, що є результатом одного процесу перетворення, можуть бути вихідними для іншого процесу. *Сукупність даних, використовуваних усіма компонентами САПР, становить інформаційний фонд САПР.* Інформаційне забезпечення САПР складається з інформаційного фонду й засобів керування цим фондом.

Система керування інформаційним фондом організує зберігання й доступ до інформації. Значна частина інформаційного фонду призначена для багаторазового використання різними проектувальниками й різними прикладними програмами в маршрутах проектування.

Інформаційний фонд САПР можна організувати у вигляді файлової або бібліотечної системи. У цих випадках для ведення фонду використовуються стандартні засоби керування даними, наявні в операційних системах ЕОМ. Однак файлові й бібліотечні системи незручні й неефективні при колективному використанні більшої частини інформаційного фонду, коли потрібна швидка вибірка окремих записів, додавання й заміна даних зі збереженням цілісності даних. Цілісність і правильне колективне використання цієї частини фонду досягаються при його організації у вигляді банку даних.

Основною складовою частиною інформаційного забезпечення САПР є банк даних. *Банк даних - це* інформаційна система, що включає до свого складу комплекс спеціальних методів і засобів для підтримки динамічної інформаційної моделі предметної області з метою забезпечення інформаційних запитів користувачів. Банк даних складається з однієї або декількох баз даних і системи керування базами даних.

База даних (БД) – це сукупність взаємозалежних даних, що зберігаються спільно в зовнішній пам'яті ЕОМ. База даних являє собою прямокутну таблицю, рядки якої називаються записами, а стовпці представляють поля записів.

Система керування базами даних (СУБД) - сукупність програмних засобів, що забезпечують функціонування БД. За допомогою СУБД проводиться запис даних у БД, їх вибірка по запитах користувачів і прикладних програм, забезпечується захист даних від викривлень і від несанкціонованого доступу й т.п.

Бази знань (БЗ), будучи логічним продовженням БД, підтриму-

ють і моделюють деякі елементи інтелектуальної діяльності людини, при цьому активно використовуються механізми змістовної інтерпретації. В існуючих САПР функції цих механізмів виконуються спеціально розроблювальними програмами. Разом з тим бази даних пов'язані з базами знань і в тому плані, що БД є компонентом БЗ і відображають певний рівень представлення знань.

База знань - формалізована сукупність відомостей про деяку предметну область, що містить дані про властивості об'єктів, закономірності процесів і явищ і правила використання в заданих ситуаціях цих даних для прийняття нових рішень.

Перехід від даних до знань — логічний наслідок розвитку й ускладнення інформаційних структур, оброблюваних на ЕОМ. Потрібно підкреслити, що база знань не відкидає й не заміняє базу даних. База знань і база даних розглядаються як різні рівні представлення інформації, що зберігається в банку даних.

Застосування банків даних у САПР обумовлене необхідністю вирішення важливих проблем, пов'язаних із забезпеченням вірогідності результатів, організацією наскрізного автоматизованого проектування й зі створенням відкритих САПР.

Класифікація банків даних. Банки даних і їх складові частини класифікують по ряду ознак.

По ступеню *універсальності* розрізняють СУБД універсальні й спеціалізовані, а БД - проектно-залежні й проектно-незалежні. *Універсальні* СУБД можна використовувати в різних додатках, спеціалізація відповідного банку даних при цьому буде визначатися конкретним наповненням БД. Можливості побудови універсальних СУБД впливають із ідентичності структур даних, що мають різну проблемну приналежність. Серед універсальних систем керування базами даних можна відзначити: dbase, Clipper, Foxpro, Lotus, Paradox, Access та ін.

Спеціалізовані СУБД дозволяють за рахунок орієнтації на певну предметну область із характерними структурами даних і процедурами їх обробки добитися більшої ефективності використання обчислювальних ресурсів.

Проектно-залежні БД містять інформацію про поточні проекти, ця інформація перетерплює часті зміни. *Проектно-незалежні* БД, називані *архівними*, зберігають дані, застосовувані в багатьох проектах, вибірка даних з архівів проводиться набагато частіше, чим запис нових даних.

По масштабах використання розрізняють БД інтегровані (загальні), локальні й окремих пакетів прикладних програм. *Інтегрована* БД відноситься до всієї САПР, у ній утримується інформація, що є предметом обробки більш ніж однієї підсистеми. Через інтегровану БД реалізуються інформаційні зв'язки між підсистемами САПР. *Локальні* БД разом з відповідними СУБД обслуговують одну з підсистем САПР і реалізують інформаційні зв'язки між пакетами програм усередині підсистеми.

По місцю зберігання БД діляться на централізовані й розподілені. *Централізовані* БД зберігаються в запам'ятовувальних пристроях центрального обчислювального комплексу або спеціально виділеному вузлі обчислювальної мережі. *Розподілені* БД складаються з декількох частин, розподілених по вузлах обчислювальної системи або мережі (наприклад, по різних робочих місцях). Найчастіше ці частини збігаються з локальними БД.

По ступеню пов'язаності (структурованості) даних розрізняють БД і СУБД документальні й фактографічні. Структура даних задається вказівкою безлічі складових частин інформації й способів їх взаємозв'язку. При описі структур даних найчастіше оперують записами як основними частинами інформації. Записи складаються з полів, поля - з елементів. Записи можуть поєднуватися в більші структурні одиниці, називані масивами, списками, файлами, базами даних.

Документальні (deskriptornі) БД, називані також інформаційно-пошуковими системами (ІПС), характеризуються тим, що інформація представляється у вигляді слабоструктурованих записів.

Фактографічні БД характеризуються тим, що інформація зберігається у вигляді сильно структурованих записів, для яких характерні фіксовані кількість і формати полів. Приклади подібних записів - рядок таблиць із числовими значеннями елементів.

По періодичності відновлення й поповнення даних розрізняють БД: оперативні, змінювані, статичні. *Оперативні БД* допускають поповнення й зміна, що втримуються в них даних безпосередньо по запитах користувачів в "реальному" масштабі часу. БД цього типу використовуються в САПР для організації інформаційної взаємодії окремих підсистем програмного забезпечення.

Модифікація даних у *змінюваних БД* виконується адміністратором БД за заявками користувачів через певні (досить тривалі) проміжки часу. *Статичні* БД на відновлення даних не розраховані. БД вико-

ристовуються в САПР для зберігання інформації нормативно-довідкового характеру (ДСТУ, нормалей і т.п.), а також відомостей про раніше виконані розробки й типових проектних рішеннях.

Користувачі банку даних і рівні доступу. Користувачів банку даних розрізняють за рівнем компетенції, що характеризує можливість доступу користувача до тих або інших даних. Мова йде про захист певної частини даних від тих користувачів, які по різних причинах не повинні мати можливість їх одержання або зміни. Отже, банк даних повинен мати спеціальні засоби для забезпечення санкціонованого доступу користувачів до даних. Користувачі банку даних відрізняються один від іншого за формою представлення запитів, з якими вони звертаються до системи, а також за формою показу зажаданої інформації. По цих ознаках усіх користувачів розділяють на дві групи: користувачі завдання й користувачі - люди.

Користувачі завдання звертаються до банку даних з регламентованими за формою й по змісту запитами. Видавана ними інформація відповідним чином обробляється й компонується на підставі прийнятих у системі формальних правил і угод.

Користувачі-Люди звертаються до банку даних з довільними або з регламентованими по змісту запитами. Видавана ним інформація повинна мати зручну для людини форму: бути у вигляді тексту природньою мовою, таблиць із поясненнями, графіків і т.п. Основні користувачі цієї групи: користувачі-прикладні програмісти й користувачі - не програмісти.

Користувачі-Прикладні програмісти - особлива категорія користувачів. Вони виконують роботи із програмування функціональних завдань.

Тому що САПР завжди є системою що розбудовується (один з основних принципів створення автоматизованої системи - принцип безперервного розвитку), то розширюється коло завдань, які повинні вирішуватися в мінливих умовах функціонування.

Крім того, при роботі САПР може виникнути ситуація, коли доцільно скласти спеціальну прикладну програму для обробки ряду запитів, які передбачалися довільними, але виявилися відносно постійними по змісту й часу надходження. Тому в складі обслуговуючого персоналу САПР є фахівці в області обробки даних, що виконують програмування функціональних завдань, тобто прикладні програми, що розробляють.

Користувачі-непрограмісти - найбільш численна група осіб, для задоволення інформаційних потреб яких і створюється банк даних. Тому користувачів - непрограмістів ще називають кінцевими користувачами. Це фахівці у своїй області діяльності (проектувальники, керівники проектного підрозділу і т.п.).

До банку даних пред'являються наступні вимоги, він повинен:

- задовольняти актуальним інформаційним потребам користувачів, забезпечувати можливість зберігання й модифікації великих обсягів багатоаспектної інформації, задовольняти знову виникаючі потреби користувачів;
- забезпечувати заданий рівень вірогідності збереженої інформації та її несуперечність;
- забезпечувати доступ до даних тільки користувачів з відповідними повноваженнями;
- забезпечувати можливість пошуку інформації з довільної групи ознак;
- задовольняти заданим вимогам продуктивності при обробці запитів;
- мати можливість реорганізації й розширення при зміні границь предметної області;
- забезпечувати видачу інформації користувачам у різній формі;
- забезпечувати простоту й зручність обігу користувачів за інформацією;
- забезпечувати можливість одночасного обслуговування великої кількості користувачів і т.п.

Прагнення до максимального задоволення названих вимог приводить до необхідності вирішувати питання про централізацію керування даними.

У порівнянні із традиційним забезпеченням монопольними файлами кожного додатку *централізоване керування даними має ряд важливих переваг:*

- *скорочення надмірності збережених даних.* Може бути забезпечена мінімально необхідна (наприклад, тільки для забезпечення необхідної продуктивності системи) надмірність (дублювання) збережених даних;
- *усунення суперечливості збережених даних.* Наслідком усунення надмірності даних є усунення можливості виник-

нення суперечливості тих самих даних у різних додатках. Дійсно, оскільки усувається можливість зберігання того самого даного в різних записах, усувається ситуація, коли при фактичній зміні значення даного воно виявиться зміненим не у всіх записах;

- **багатоаспектне використання даних.** Централізоване керування дозволяє повною мірою вирішувати таке питання, як забезпечення нових додатків за рахунок уже наявних даних, тобто забезпечується реалізація принципу однократного введення й багатоаспектного використання даних;
- **комплексна оптимізація.** У максимальному ступені усуваються суперечливі вимоги, наприклад, на основі аналізу вимог користувачів можна вибрати такі структури зберігання даних, які забезпечать найкраще обслуговування в цілому;
- **забезпечення можливості стандартизації.** Забезпечується стандартизація у представленні даних, що спрощує експлуатацію банку даних, обмін даними з іншими автоматизованими системами, полегшує виконання процедур контролю й відновлення даних;
- **забезпечення можливості санкціонованого доступу до даних.** Інтеграція (об'єднання) даних приводить до того, що дані, використовувані різними користувачами, можуть перетинатися всіляким образом. У цих умовах особливо важлива наявність механізму захисту даних від несанкціонованого доступу до них, тобто доступ до певних груп даних повинен дозволятися тільки користувачам з відповідними повноваженнями.

Наявність централізованого керування даними-головна відмітна риса банків даних. Таким чином, банк даних-це інформаційна система, що реалізує централізоване керування даними в інтересах усіх користувачів автоматизованої системи, до складу якої вона входить.

Забезпечення захисту даних у базі. З появою централізованих баз даних виникла необхідність у захисті даних. Термін "захист даних" означає, по-перше, попередження несанкціонованого або випадкового доступу до даних, їхні зміни або руйнування з боку користувачів. І, по-друге, попередження зміни або руйнування даних при збоях апаратних і програмних засобів і помилках у роботі співробітників групи експлуатації.

Захист даних забезпечує їхня безпека й таємність. Ці дві функції тісно зв'язані між собою й для їхньої реалізації використовуються ті самі технічні методи захисту даних у БД. Але між цими функціями існує й принципова відмінність. Під *функцією безпеки* розуміється захист даних від ненавмисного доступу до даних і можливості їх викривлення з боку користувачів або осіб, що виконують експлуатацію, а також при збоях в апаратурі або програмних засобах.

Тому забезпечення безпеки - це внутрішнє завдання банку даних, оскільки пов'язана з його нормальним функціонуванням. Під *функцією таємності* розуміється захист даних від навмисного доступу користувачів або осіб, що виконують експлуатацію, або сторонніх осіб. Забезпечення таємності вимагає поділу всієї збереженої в БД інформації на загальнодоступні дані й дані, які повинні використовуватися конфіденційно (тобто вони або самі містять секретну інформацію, або її можна одержати з них за допомогою спеціальної алгоритмічної обробки). Тому забезпечення таємності - це зовнішнє завдання для банку даних.

Адміністратор бази даних, надаючи користувачам певні права санкціонованого доступу, повинен указати системі, які операції дозволені користувачеві, сформувати паспорт користувача й забезпечити засоби ідентифікації користувачів при роботі із системою.

Перед початком сеансу роботи із системою користувачі повинні ідентифікувати себе й підтвердити дійсність своєї ідентифікації, тобто що вони саме ті особи, за яких себе видають. Для особливо важливої інформації ці два кроки можуть багаторазово повторюватися.

Процес ідентифікації користувача виконується за допомогою або системного ідентифікаційного номера користувача, або зчитуваних машиною ідентифікованих карт або знаків, або номера термінала, що запросив сеанс роботи.

Процес підтвердження справжності являє собою обмін між користувачем і системою інформацією, відомій тільки системі й користувачеві. У найпростішому випадку процес підтвердження справжності може бути відсутній і система захисту використовує тільки процес ідентифікації користувача.

Підтвердження справжності реалізується спеціальною процедурою, звичайно нескладною, але з дуже низькою ймовірністю її розкриття. Це можуть бути одноразові паролі, відповіді на деякі питання або реалізація деяких алгоритмів.

Особливості баз даних САПР. Різноманітність проектних процедур у САПР обумовлює різноманітність типів і структур даних, якими обмінюються користувачі й прикладні програми через БД. База даних САПР повинна бути пристосована для зберігання: відомостей довідкового характеру про використовувані матеріали комплектуючих деталей, які спочатку мають форму таблиць; інформації про креслення й схеми, що вимагають для свого представлення в ЕОМ спеціального кодування; текстових документів типу пояснювальних записок, інструкцій із проектування, описів програм тощо.

Головна особливість інформації, збереженої в БД, полягає в її структурованості. Відомості про структуру й взаємозв'язки даних у БД, виражаються не тільки впорядкованим розташуванням даних, але й за допомогою додаткових масивів показників, індексів, імен (ключів) і т.п. Структурованість даних дозволяє розробити уніфіковані алгоритми, відповідно до яких відбуваються інформаційні обміни між, БД і кожним з модулів програмної системи. Ці уніфіковані алгоритми є основою системи керування базами даних.

У міру розвитку проекту інформація про нього суттєво змінюється, збільшується обсяг проектної документації, обновляються масиви даних через ітераційний характер процесу проектування, з'являються альтернативні варіанти й т.п.

Питання для самоперевірки

1. Які функції виконує програмне забезпечення (ПЗ) САПР?
2. Які вимоги висуваються до ПЗ САПР?
3. Назвіть основні функції загальносистемного ПЗ.
4. Що таке пакет прикладних програм?
5. В чому полягає об'єктно-орієнтований підхід в програмуванні?
6. Що складає основу інформаційного забезпечення САПР?
7. Що таке база даних?
8. Як класифікуються банки даних?
9. Як класифікують користувачів банку даних?
10. Які вимоги висувають до банку даних?
11. Які переваги має централізоване керування даними?
12. Яким чином забезпечується захист даних у базі?
13. Коротко розкажіть про особливості баз даних САПР.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Петров А. П. Основы САПР в машиностроении : Учебное пособие. Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2001. 139 с.
2. Ли Кунву Основы САПР (CAD / CAM / CAE). Спб. : Питер, 2004. 560 с.
3. Дементьев Ю. В. САПР в автомобиле- и тракторостроении : Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М : Академия, 2004. 224 с.
4. Яблочников Е. И., Фомина Ю. Н., Саломатина А. А. Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия : Учебное пособие. Спб. : СПбГУ ИТМО, 2010. 188 с.
5. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования : учеб. для вузов. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 430 с.

Додаткова

6. Пестрецов С. И. CALS-технологии в машиностроении : основы работы в CAD / CAE- системах : учебное пособие. Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 104 с.
7. Колчин А. Ф., Овсянников М. В. Управление жизненным циклом изделия. Москва : Анахарсис, 2003. 356 с.
8. NX для конструктора-машиностроителя / П. С. Гончаров и др. Москва : ДМК Пресс, 2010. 504 с.
9. Берлинер Э. М. САПР в машиностроении : учебник для вузов. Москва : ФОРУМ, 2008. 448 с.
10. Плешаков В. В. САПР процессов изготовления и ремонта колесных и гусеничных машин : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190201 - 'Автомобиле- и тракторостроение'. Москва : МГУПИ, 2007. 256 с.
11. Проектирование и конструирование в машиностроении : учебное пособие для вузов : в 2 частях / В. П. Бахарев и др. ; под ред. А. Г. Схиртладзе. - 2-е изд., перераб. и доп. Старый Оскол : ТНТ, 2009. - Ч. 1 : Общие методы проектирования и расчёта. Надёжность техники. 248 с.
12. Таратынов О. В. Технология машиностроения. Основы проектирования на ЭВМ : учебное пособие. Москва : ФОРУМ, 2011. 608 с.

13. Федотова Е. Л. Информационные технологии и системы : учебное пособие. Москва: ФОРУМ, 2014. 352 с.
14. Бунаков П. Ю., Рудин Ю. И., Стариков А. В. Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов. Учебник по дисциплине "Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов" для студентов специальности 250303. Москва : МГУЛ, 2007. 194 с.

Інформаційні ресурси

15. Описание САПР. URL: <http://seniga.ru/sapr.html> (дата звернення: 10.12.2018)
16. АСКОН - комплексные решения для автоматизации инженерной деятельности и управления производством. CAD/AEC/PLM. URL: <https://ascon.ru/products/7/review/>. (дата звернення: 23.09.2018)
17. Система NX (колишня назва - Unigraphics) компанії Siemens. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/>. (дата звернення: 23.09.2018)
18. Система CATIA. URL: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>. (дата звернення: 23.09.2018)
19. Система SolidWorks. URL: <https://www.solidworks.com>. (дата звернення: 23.09.2018)
20. Welcom to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. URL: <https://www.ansys.com>. (дата звернення: 23.09.2018)
21. Система PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/ENGINEER) компанії PTC (Parametric Technology Corporation). URL: <https://www.ptc.com/en/industries/automotive>. (дата звернення: 23.09.2018)
22. Система T-FLEX. URL: <http://www.tflex.ru/>. (дата звернення: 23.09.2018)
23. Система Autodesk Inventor. URL: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>. (дата звернення: 23.09.2018)
24. Система AutoCAD URL: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>. (дата звернення: 23.09.2018)
25. Система Solidedge компанії Siemens. URL: <https://solidedge.siemens.com/ru/>. (дата звернення: 23.09.2018)