

Тема 1. Основні поняття про САПР

989900Ni

Лекція 1.

- 1.1. Основні поняття процесу проєктування
- 1.2. Класифікація САПР
- 1.3. Визначення CAD, CAM і CAE

1.1. Поняття автоматизованого проєктування

Сучасні підприємства не зможуть існувати в умовах ринкової економіки, якщо не випускатимуть нові продукти кращої якості, нижчої вартості і за менший час. Тому для цього їм потрібно використовувати сучасні комп'ютерні технології, їх високу швидкість і можливості зручного графічного інтерфейсу для того, щоб автоматизувати і пов'язати один з одним завдання проєктування і виробництва. Таким чином скорочується час і вартість розробки і випуску продукції.

Під автоматизацією проєктування розуміється такий спосіб виконання процесу розробки проєкту, коли проєктні процедури й операції здійснюються розробником виробу при тісній взаємодії з ПК.

Система автоматизованого проєктування (САПР) - це система, що включає користувача (інженера, конструктора, технолога) і комплекс засобів автоматизації проєктування, який утворюють технічне (ПК), програмне, математичне, інформаційне, лінгвістичне, методичне, організаційне забезпечення.

Розрізняють автоматизоване й автоматичне проєктування.

Автоматизованим називають проєктування, при якому всі перетворення описів об'єкта і алгоритму його функціонування, а також представлення описів на різних мовах здійснюються взаємодією людини і ПК.

Автоматичним є проєктування, при якому всі перетворення описів об'єкта і алгоритму його функціонування, а також представлення опису на різних мовах здійснюються без участі людини [1].

Розвиток САПР ґрунтується на сучасній науково-технічній базі. До неї входять засоби обчислювальної техніки – мікро-ЕОМ і міні-ЕОМ, персональні комп'ютери, обчислювальні системи, розподільні обчислювальні мережі, нові методи подання і обробки інформації, побудовані на принципах штучного інтелекту, а також нові чисельні методи вирішення складних технічних завдань і оптимізації.

Сучасний ринок САПР пропонує широкий спектр програмних продуктів для вирішення великого кола завдань за допомогою ПК, всі ці продукти можна класифікувати за рівнями [1].

2.1. Вимоги до систем автоматизованого проєктування

1. Вдосконалення методів проєктування, зокрема, використання методів багатоваріантного проєктування і оптимізації для пошуку ефективних варіантів і ухвалення рішень.

2. Підвищення частки творчої праці інженера-проєктувальника.

3. Підвищення якості проєктної документації.

4. Вдосконалення керування процесом розробки проєктів.

5. Часткова заміна натурних експериментів і макетування моделюванням на ЕОМ.

6. Зменшення обсягу випробувань і доведення дослідних зразків у результаті підвищення рівня достовірності проєктних рішень і, отже, зниження часових витрат.

У даний час ситуація в області САПР технічних систем склалася таким чином, що утворився очевидний розрив між спеціалізованим інформаційним і програмним забезпеченням, що реалізовує проектний розрахунок виробів на різних етапах проектування (спеціалізовані САПР), і інструментальними засобами проектування на ЕОМ. Якщо в першому випадку вітчизняна наука має незаперечні пріоритети як в області математичного моделювання технічних систем, побудови інформаційного і програмного забезпечення, так і в області розробки процедур ухвалення рішень, то в області побудови просторових геометричних моделей деталей і вузлів є суттєве відставання від зарубіжних розробок.

Інструментальні засоби - це CAD/CAE/CAM системи, які останнім часом в набули великого поширення.

Різновиди САПР

За цільовим призначенням Найбільш представницькими й широко використовуваними є наступні **групи САПР** [2]:

1. САПР для застосування в галузях загального машинобудування Їх ще називають машинобудівними САПР або *MCAD (Mechanical CAD)* системами.
2. САПР для радіоелектроніки. Їх назви - *ECAD (Electronic CAD)* або *EDA (Electronic Design Automation)* системи.
3. САПР в області архітектури і будівництва.

Крім того, відоме велике число більш спеціалізованих САПР, які виділяються у вказаних групах, або представляють самостійну гілку в класифікації. Прикладами таких систем є САПР великих інтегральних схем (ВІС); САПР літальних апаратів, САПР електричних машин і т.п.

1.2. Структура САПР

Підсистеми

САПР складається з проектуючої і обслуговуючої підсистем.

Проектуючі підсистеми безпосередньо виконують проектні процедури. Прикладами проектуючих підсистем можуть слугувати підсистеми геометричного тривимірного моделювання механічних об'єктів, виготовлення конструкторської документації, схемотехнічного аналізу, трасування з'єднань у друкованих платах.

Обслуговуючі підсистеми забезпечують функціонування проектуючих підсистем, їхню сукупність часто називають системним середовищем (або оболонкою) САПР. Типовими обслуговуючими підсистемами є

підсистеми керування проектними даними (PDM – Product Data Management),

підсистеми керування процесом проектування (DesPM – Design Process Management),

підсистеми користувацького інтерфейсу для зв'язку розробників з ЕОМ, (CASE – Computer Aided Software Engineering) для розробки та супроводу програмного забезпечення САПР,

навчальні підсистеми для освоєння користувачами технологій, реалізованих у САПР.

Складовими структурними частинами САПР, жорстко пов'язаними з організаційною структурою проектної організації, є підсистеми, в яких за допомогою спеціалізованих комплексів засобів вирішується функціонально закінчена послідовність завдань САПР [3].

За призначенням підсистеми розділяють на два види: **проектуючі** і **обслуговуючі**.

До проектуючих відносяться підсистеми, що виконують проектні процедури і операції, наприклад підсистема оптимізації характеристик виробу; підсистема проектування вузлів деталей і складальних одиниць; підсистема технологічного проектування; підсистема проектування пристроїв. *Приклади проектуючих підсистем: ескізне проектування виробів, проектування корпусних деталей, проектування технологічних процесів механічної обробки.*

Обслуговуючими називають підсистеми, що мають загальносистемне застосування і функціонування проектуючих підсистем, що забезпечують підтримку, а також оформлення, передачу і виведення отриманих в них результатів, наприклад підсистема графічного відображення об'єктів проектування; підсистема документування; підсистема обслуговування бази даних.

2.2. Класифікація САПР

Класифікувати САПР можна за такими ознаками:

- по ступеню формалізації вирішуваних задач;
- по функціональному призначенню;
- по спеціалізації;
- по технічній організації.

По ступеню формалізації вирішуваних задач САПР можуть бути побудовані на вирішенні:

- повністю формалізованих задач;
- частково формалізованих задач;
- не формалізованих задач.

Системи побудовані на рішенні задач, що повністю формалізуються, для проектування складних конструкцій зазвичай не придатні, оскільки математичні моделі об'єктів проектування і процесів їх функціонування настільки складні, що повний і точний їх математичний опис на сьогоднішній день неможливий. Такі системи можуть застосовуватися тільки для вирішення простих задач проектування.

Системи побудовані на вирішенні задач, що не формалізуються, в даний час знаходяться у стадії досліджень і розробки («штучний інтелект») і для проектування також не застосовуються.

Необхідно відзначити, що в обох випадках процес проектування відбувається без втручання людини. Таким чином мова йде не про системи автоматизованого, а автоматичного проектування.

Для вирішення завдань у багатьох галузях промислового виробництва у даний час придатні тільки системи, побудовані на рішенні задач, що частково формалізуються.

Безумовно, частина завдань, пов'язаних з проектуванням деяких простих елементів конструкції може бути вирішена з використанням автоматичного проектування, але для проектування складних агрегатів і систем сьогодні повна автоматизація неможлива. Крім того, якщо йдеться про такі поняття, як форма пристрою, деталі інтер'єру, то на їх конструкцію крім функціональних вимог (аеродинамічні властивості, ергономіка, безпека) впливають і суб'єктивні чинники, наприклад мода, що також неможливо описати мовою математичних залежностей.

За функціональним призначенням САПР поділяються в залежності від вирішуваних задач, визначених складом функціональної частини системи:

- розрахунково-оптимізаційні;
- графічні;
- графоаналітичні;

— інформаційні і т.п.

За спеціалізацією САПР поділяють на спеціалізовані та інваріантні. Оскільки завдання автоматизованого проектування дуже складні, то, як правило, САПР є спеціалізовані системи, що створюються для вирішення вузьких завдань однієї галузі.

За технічною організацією САПР бувають однорівневі, побудовані на базі однієї достатньо продуктивної ЕОМ з набором необхідних периферійних пристроїв, і багаторівневі, такі, що включають крім базової ЕОМ ряд підпорядкованих їй автоматизованих робочих місць (АРМ), що побудовані на основі ЕОМ нижчого рівня.

За цільовим призначенням розрізняють САПР або підсистеми САПР, що забезпечують різні аспекти проектування. Так, у складі MCAD є CAE/CAD/CAM системи:

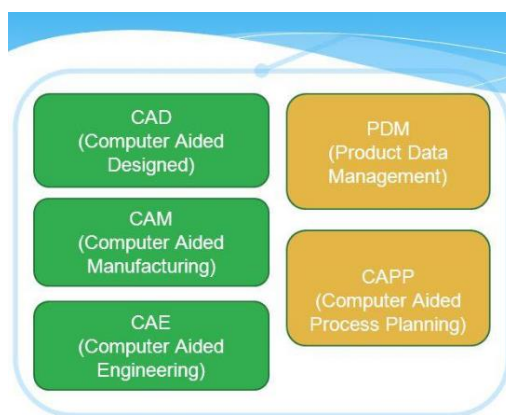
1) САПР функціонального проектування, інакше САПР-Ф або **CAE** (*Computer Aided Engineering*) системи.

2) конструкторські САПР загального машинобудування - САПР-К, часто звані просто **CAD** - системами;

3) технологічні САПР загального машинобудування - САПР-Т, інакше звані автоматизованими системами технологічної підготовки виробництва (АСТПВ) або системами **CAM** (*Computer Aided Manufacturing*).

CAPP - Computer Automated Process Planning - етап технологічної підготовки виробництва

CAPP (англ. computer - aided process planning) - засоби автоматизації планування технологічних процесів, вживані на стику систем CAD і CAM.



Складові САПР

Автоматизоване проектування (computer-aided design – CAD) є технологією суть якої полягає у використанні комп'ютерних систем для полегшення створення, змін, аналізу і оптимізації проектів. Таким чином, будь-яка програма, що працює з комп'ютерною графікою, так само як і будь-який додаток використовуваний в інженерних розрахунках, відноситься до систем автоматизованого проектування.

Автоматизоване виробництво (computer-aided manufacturing – CAM) – це технологія, що полягає у використанні комп'ютерних систем для планування, управління і контролю операцій виробництва через прямий або непрямий інтерфейс з виробничими ресурсами підприємства. Одним з найбільш широко застосовуваних

підходів до автоматизації виробництва є числове програмне управління (ЧПУ, numerical control – NC).

Автоматизоване конструювання (computer-aided engineering – CAE) – полягає у використанні комп'ютерних систем для аналізу геометрії CAD, моделювання і вивчення поведінки виробу для удосконалення і оптимізації його конструкції. Засоби CAE можуть здійснювати багато різних варіантів аналізу. Програми для кінематичних розрахунків, здатні визначати траєкторії руху і швидкості ланок в механізмах. Програми динамічного аналізу можуть використовуватися для визначення навантажень і зсувів в складних пристроях типу автомобілів. Програми верифікації і аналізу логіки і синхронізації імітують роботу складних електронних ланцюгів.

Перевагами методів аналізу і оптимізації (CAE) конструкцій є те, що вони дозволяють конструктору побачити поведінку кінцевого виробу і виявити можливі помилки до створення і тестування реальних прототипів, уникнувши певних витрат. Оскільки вартість конструювання на останніх стадіях розробки і виробництва продукту є значною, а це призводить до скорочення термінів і вартості розробки.

1.2. Визначення CAD, CAM і CAE

Автоматизоване проектування (*computer-aided design - CAD*) є технологією, суть якої полягає у використанні комп'ютерних систем для полегшення створення, змін, аналізу і оптимізації проектів.

Таким чином, будь-яка програма, що працює з комп'ютерною графікою, так само як і будь-який додаток використовуваний в інженерних розрахунках, відноситься до систем автоматизованого проектування.

До складу засобів CAD відносять геометричні програми для роботи з формами, а також спеціалізовані додатки для аналізу і оптимізації. До цих засобів також відносять програми для аналізу допусків, розрахунку масо-інерційних властивостей, моделювання методом кінцевих елементів і візуалізації результатів аналізу. **Найголовніша функція CAD - визначення геометрії конструкції** (деталі механізму, архітектурні елементи, електронні схеми, плани будівель і т. п.), оскільки **геометрія визначає всі подальші етапи життєвого циклу виробу**. Для цієї мети зазвичай використовуються системи розробки робочих креслень і геометричного моделювання. Тому ці системи вважаються системами автоматизованого проектування. Крім того, геометричні параметри, які визначені у цих системах можуть використовуватися як основа для подальших операцій в системах CAE і CAM.

До переваг засобів CAD відносять: економія часу, скорочення кількості помилок пов'язаних з необхідністю визначати геометрію конструкції. Таким чином, системи автоматизованої розробки робочих креслень і системи геометричного моделювання є найбільш важливими компонентами автоматизованого проектування.

Автоматизоване виробництво (*computer-aided manufacturing - CAM*) - це технологія, що полягає у використанні комп'ютерних систем для планування,

управління і контролю операцій виробництва через прямий або непрямий інтерфейс з виробничими ресурсами підприємства. Одним з найбільш широко застосовуваних підходів до автоматизації виробництва є числове програмне управління (ЧПУ, numerical control - NC). ЧПУ полягає у використанні запрограмованих команд для управління верстатом, який може шліфувати, різати, фрезерувати, штампувати, згинати та іншими способами перетворювати заготовки на готові деталі. У наш час комп'ютери здатні генерувати великі програми для верстатів з ЧПУ на підставі геометричних параметрів виробів з бази даних CAD і додаткових відомостей, що надаються оператором. Напрямок розвитку у цій галузі полягає у скороченні необхідності втручання оператора.

Ще одна важлива функція систем автоматизованого виробництва - програмування роботів, які можуть працювати на гнучких автоматизованих ділянках, вибираючи і встановлюючи інструменти проводячи обробку на верстатах з ЧПУ. Роботи можуть виконувати власні завдання, наприклад зварювання, збірка і перенесення устаткування і деталей по цеху.

Планування процесів може визначати послідовність операцій по виготовленню пристрою від початку і до кінця на всьому необхідному устаткуванні. Хоча повністю автоматизоване планування процесів практично неможливе, але план обробки конкретної деталі цілком може бути сформований автоматично, якщо вже є плани обробки аналогічних деталей. Для цього була розроблена **технологія групування**, що дозволяє об'єднувати схожі деталі в сімейства. Деталі вважаються подібними, якщо вони мають загальні виробничі особливості (вузли, пази, отвори і т. д.). Для автоматичного виявлення схожості деталей необхідно, щоб база даних CAD містила відомості про такі особливості. Це завдання здійснюється за допомогою об'єктно-орієнтованого моделювання або розпізнавання елементів.

Автоматизоване конструювання (computer-aided engineering - **CAE**) - полягає у використанні комп'ютерних систем для аналізу геометрії CAD, моделювання і вивчення поведінки виробу для удосконалення і оптимізації його конструкції. Засоби CAE можуть здійснювати багато різних варіантів аналізу. Програми для кінематичних розрахунків, здатні визначати траєкторії руху і швидкості ланок в механізмах. Програми динамічного аналізу можуть використовуватися для визначення навантажень і зсувів в складних пристроях типу автомобілів. Програми верифікації і аналізу логіки і синхронізації імітують роботу складних електронних ланцюгів.

Зі всіх методів комп'ютерного аналізу найширше в конструюванні використовується метод кінцевих елементів (*finite-element method* - **FEM**). З його допомогою розраховуються напруженість, деформації, теплообмін, розподіл магнітного поля, потоки рідин та інші завдання з безперервними середовищами, вирішувати які будь-яким іншим методом є непрактично. У методі кінцевих елементів аналітична модель структури є з'єднанням елементів, завдяки чому вона розбивається на окремі частини, які вже можуть оброблятися комп'ютером.

Крім згаданих вище засобів існує багато програмних засобів для оптимізації конструкцій. Хоча засоби оптимізації можуть бути віднесені до класу CAE, зазвичай їх розглядають окремо. У цих підходах початкова форма конструкції передбачається простою, як, наприклад, у прямокутного двовимірного об'єкту, що складається з невеликих елементів різної щільності. Потім виконується процедура оптимізації, що дозволяє визначити конкретні значення щільності та досягти певної мети з урахуванням обмежень на напруженість. Після визначення оптимальних значень щільності розраховується оптимальна форма об'єкту.

Перевагами методів аналізу і оптимізації конструкцій є те, що вони дозволяють конструктору побачити поведінку кінцевого виробу і виявити можливі помилки до створення і тестування реальних прототипів, уникнувши певних витрат. Оскільки вартість конструювання на останніх стадіях розробки і виробництва продукту є значною, а це призводить до скорочення термінів і вартості розробки.

Як приклад можна розглянути проект розробки компанією Shorts Brothers фюзеляжу для літака бізнес-класу Learjet 45 за допомогою сучасних CAD/CAM/CAE-систем. Результати виконання проекту просто вражають. Раніше у створюваних Shorts Brothers фюзеляжах літаків зазвичай налічувалося до 9500 структурних деталей. Подібні проекти могли зажадати більш 440000 людино-днів (до 4-х років для завершення проекту). Фюзеляж Learjet 45 виявився не тільки найбільш складним серед існуючих, а й був розроблений в значно менші терміни (на 40%), ніж його попередники. Крім того, приблизно в 10 разів було покращено якість деталей і складання фюзеляжу, а загальне число деталей скорочено на 60% (при зниженні обсягу основних переробок на 90% порівняно з попередніми проектами). У цілому, компанія Shorts змогла зменшити число компонентів з 9500 до 3700 (на 60%). Повний час на проектування і технологічну підготовку виробництва було скорочено до 125000 людино-днів. Загальний час розробки та технологічної підготовки виробництва до 60000 людино-днів, а весь цикл розробки типового фюзеляжу скоротився з 4-х років до 1,5-2 років.

Таким чином, технології CAD, CAM і CAE полягають в автоматизації і підвищенні ефективності конкретних стадій життєвого циклу виробу. Розвиваючись незалежно, ці системи потребують інтеграції процесів проектування і виробництва. Для вирішення цієї проблеми була запропонована нова технологія, що одержала назву комп'ютерно-інтегрованого виробництва (*computer-integrated manufacturing - CIM*).

Технологія CIM передбачає використання комп'ютерної бази даних для ефективнішого управління всім підприємством, зокрема бухгалтерією, плануванням, доставкою і іншими завданнями, а не тільки проектуванням і виробництвом, які охоплювалися системами CAD, CAM і CAE. **CIM часто називають філософією бізнесу, а не комп'ютерною системою.**

Щоб зрозуміти значення систем CAD/CAM/CAE необхідно вивчити різні завдання і операції, які вирішуються у процесі розробки і виробництва продукції. Всі ці завдання, узяті разом, називаються життєвим циклом виробу (product cycle). Приклад *життєвого циклу виробу* приведений на рис. 1.1.

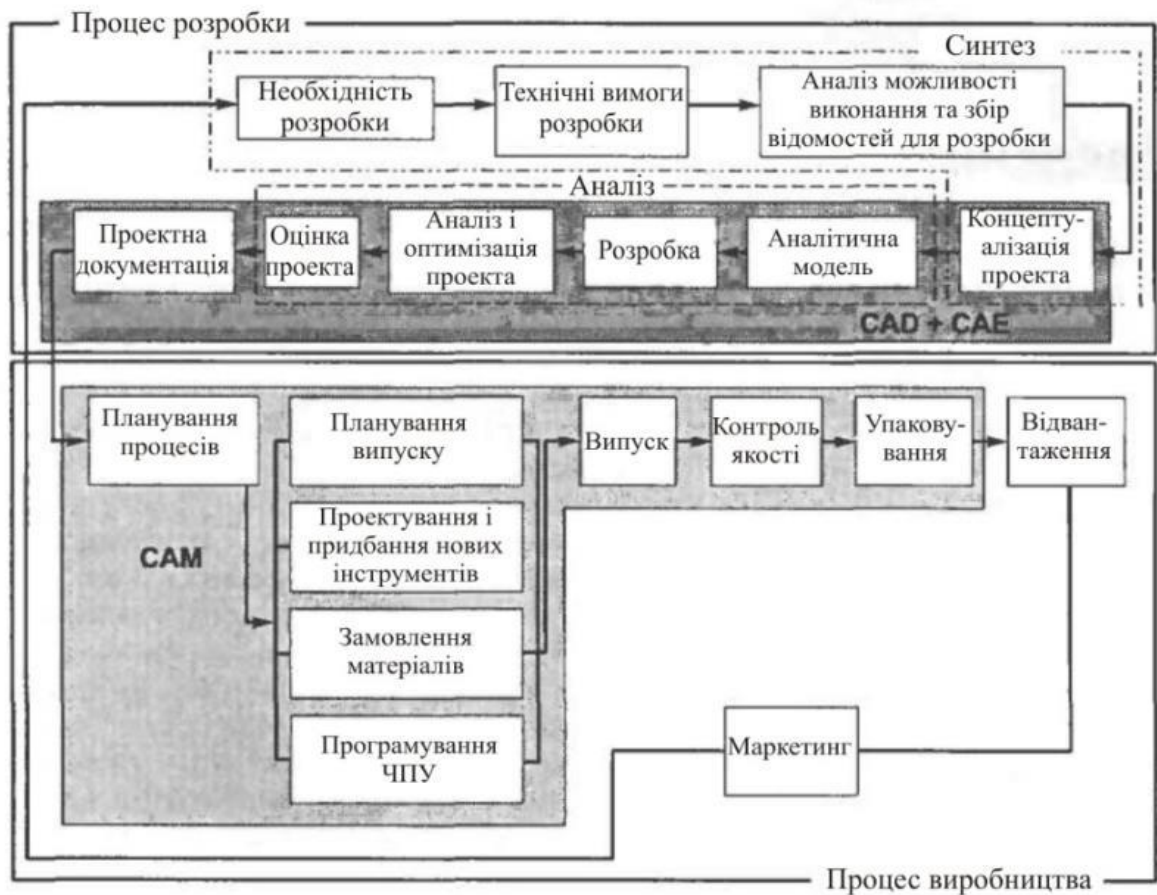


Рис. 1.1. Життєвий цикл виробу

Прямокутники, намальовані суцільними лініями, представляють два головні процеси, складових життєвого циклу виробу: *процес розробки* і *процес виробництва*.

Процес розробки починається із запитів споживачів, які обслуговуються відділом маркетингу і закінчується повним описом продукту, що зазвичай виконується у формі рисунка. (знайти рисунок на слайд)

Процес виробництва починається з технічних вимог і закінчується постачанням готових виробів. (знайти рисунок на слайд)

Операції, що відносяться до процесу розробки можна розділити на *аналітичні* і *синтетичні*. Як видно з рис. 1.1 первинні операції розробки, такі як визначення необхідності розробки, формулювання технічних вимог, аналіз здійсненності і збір важливої інформації, а також концептуалізація розробки відносяться до підпроцесу *синтезу*.

Результатом підпроцесу синтезу є *концептуальний проєкт* передбачуваного продукту у формі ескізу (Рис.) або топологічного креслення (Рис.), що відображає зв'язки різних компонентів продукту. У цій частині циклу робляться основні фінансові впливання, необхідні для реалізації ідеї виробу, а також визначається його функціональність. Велика частина інформації, що утворюється і обробляється у рамках підпроцесу синтезу є якісною, а отже, незручною для комп'ютерної обробки.

Готовий концептуальний проект аналізується і оптимізується - це підпроцес **аналізу**. Перш за все виробляється аналітична модель оскільки аналізується саме модель, а не проект.

(Рис. Аналітична модель (англ. analytical model) — один з класів **математичного моделювання** (метод дослідження процесів або явищ шляхом створення їхніх **математичних моделей** і дослідження цих моделей). Перевагою аналітичної моделі є те, що розв'язки можна аналізувати математичними методами. Недоліком аналітичних моделей є спрощення реальних ситуацій з метою отримання аналітичних розв'язків.),

Математична модель — система математичних співвідношень, які описують досліджуваний процес або явище.

При отриманні математичної моделі використовують загальні закони природознавства, спеціальні закони конкретних наук, результати пасивних та активних експериментів, імітаційне моделювання за допомогою обчислювальних машин. Математичні моделі дозволяють передбачити хід процесу, розрахувати цільову функцію (вихідні параметри процесу), керувати процесом, проектувати системи з бажаними характеристиками.

Для створення математичних моделей можна використовувати будь які математичні засоби — мову диференціальних або інтегральних рівнянь, теорії множин, абстрактної алгебри, математичну логіку, теорії ймовірностей, графи та інші. **Процес створення математичної моделі називається математичним моделюванням**. Це найзагальніший та найбільш використовуваний в науці, зокрема, в кібернетиці, метод досліджень.

Якщо відношення задаються аналітично, то їх можна розв'язати в замкнутому вигляді (явно) відносно шуканих змінних як функції від параметрів моделі, або в частково замкнутому вигляді (неявно), коли шукані змінні залежать від одного або багатьох параметрів моделі. До моделей цього класу належать диференціальні, інтегральні, різницеві рівняння, ймовірнісні моделі, моделі математичного програмування та інші.

Якщо не можна здобути точний розв'язок математичної моделі, використовуються чисельні (обчислювальні) методи або інші види моделювання.

У залежності від того, якими є параметри системи та зовнішні збурення математичної моделі можуть бути **детермінованими** та **стохастичними**. Останні мають особливо важливе значення при дослідженні і проектуванні великих систем зі складними зв'язками і властивостями, які важко врахувати. Математичний опис неперервного процесу (наприклад, диференціальними рівняннями) являє собою неперервну математичну модель.

Якщо ж математична модель описує стан системи тільки для дискретних значень незалежної змінної і нехтує характером процесів, які протікають у проміжках між ними, то така модель є дискретною (тут важливим є вибір кроку дискретності, від якого залежить точність опису реального об'єкта його математичною моделлю). **Якщо параметри об'єкта, для якого розробляють математичну модель, можна вважати незалежними від часу, то така система описується стаціонарною моделлю, характерна особливість якої — постійні коефіцієнти**. У протилежному випадку математична модель є нестаціонарною.

При математичному моделюванні орієнтуються на моделі стандартного вигляду, які забезпечені відповідним математичним апаратом. Так фізичні процеси характеризуються просторово-часовими співвідношеннями і у загальному випадку описуються диференціальними рівняннями у часткових похідних.

Важливим моментом структурування моделі є феноменологічний метод, коли субпроцеси можуть бути представлені окремими моделями, вихідні величини яких є вхідними для інших (наступних) субпроцесів. У цьому випадку математична модель складного процесу являє собою систему моделей (рівнянь), знайдених для кожного субпроцесу.

Для розробки математичних моделей широко використовується диференціальне числення, теорія множин, матриці і графи, а також планування експерименту. Відповідно розрізняють теоретико-множинні, матричні, топологічні та поліномні математичні моделі.

Не дивлячись на швидке зростання кількості і якості комп'ютерів, використовуваних в конструюванні, у майбутньому відмовлятися від використання абстракції (**Абстракція — процес мисленого ізолювання, «виривання» окремого предмета, відношення або властивості, з сукупності предметів, відношень, властивостей**.) аналітичної моделі не доцільно. Аналітичне моделювання відбувається, якщо з проекту видалити

несуттєві елементи, редукувати розмірності і врахувати наявну симетрію. Для прикладу, **редукція** (процес або дія, що призводить до зменшення, послаблення або спрощення чого-небудь, іноді до повної втрати якихось об'єктів, ознак.) розмірностей - це заміна тонкого листа з будь-якого матеріалу на еквівалентну площину з атрибутом товщини, або довгої і тонкої ділянки на лінію з певними параметрами, що характеризують поперечний розріз.

Симетричність геометрії тіла і навантаження, прикладені до нього, дозволяє розглядати в моделі лише певну її частину.

Типові приклади аналізу:

*аналіз напруження, що дозволяє перевірити міцність конструкції,
контроль зіткнень, що виявляє можливість зіткнень рухомих частин,
складових механізмів, а також
кінематичний аналіз, що показує, як проєктований пристрій здійснюватиме очікувані рухи.*

Якість результатів, які можуть бути одержані при аналізі, безпосередньо пов'язані з якістю вибраної аналітичної моделі, якою вони обмежуються.

Після завершення проєктування і вибору оптимальних параметрів починається **етап оцінки проєкту**. Для цієї мети можуть виготовлятися прототипи. У конструюванні прототипів великої популярності набуває нова технологія швидкого прототипування (rapid prototyping). Ця технологія дозволяє конструювати прототип від низу до верху, тобто безпосередньо з проєкту, оскільки фактично вимагаються тільки дані про поперечний перетин конструкції. Якщо оцінка проєкту на підставі прототипу показує, що проєкт не задовольняє вимогам, розглянутий процес розробки повторюється знову.

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

Як видно з рис. 1.1, процес виробництва починається з планування, яке виконується на підставі одержаних на етапі проєктування креслень, а закінчується готовим продуктом (виробом).

Технологічна підготовка виробництва - це операція, що встановлює список технологічних процесів по виготовленню продукту із заданими параметри. Одночасно вибирається устаткування, на якому проводитимуться технологічні операції, такі як отримання деталі потрібної форми із заготівки. В результаті підготовки виробництва складаються плани випуску, списки матеріалів і програми для устаткування. На цьому ж етапі обробляються інші специфічні вимоги, зокрема розглядаються конструкції затискачів і кріплень. У процесі виробництва підготовка займає таке ж місце, як синтез у процесі проєктування, вимагаючи при цьому значного людського досвіду і ухвалення якісних рішень. У цьому випадку вимагається значної комп'ютеризації даного етапу. Після завершення технологічної підготовки починається випуск готового продукту і його перевірка на відповідність вимогам. Якісні елементи виробу, що успішно пройшли контроль, збираються

разом, проходять тестування функціональності, упаковуються, маркуються і відвантажуються замовникам.

Розглянемо, як для описаного вище типового життєвого циклу виробу можуть бути застосовані технології CAD, CAM і CAE. Комп'ютери не можуть широко використовуватися у підпроцесі синтезу, оскільки вони не володіють здатністю якісно обробляти інформацію. Проте навіть на цьому етапі розробник може, за допомогою комерційних баз даних успішно збирати важливу для аналізу інформацію, а також користуватися даними з каталогів.

Але використання комп'ютерів у процесі концептуалізації проекту, не має широкого застосування, тому що комп'ютер ще не став засобом для інтелектуальної творчості. На цьому етапі комп'ютери можуть застосовуватися для забезпечення ефективності створення різних концептуальних проектів. Для цього також можна застосовувати засоби параметричного і геометричного моделювання а також макропрограми в системах автоматизованої розробки креслень (computer-aided drafting або CAD).

Система геометричного моделювання (geometric modeling system) - це тривимірний еквівалент системи автоматизованої розробки креслень, тобто програмний пакет, що працює з тривимірними об'єктами.

(Геометричне моделювання засновано на математичних методах аналітичної геометрії, які забезпечують введення і перетворення двохмірних і трьохмірних об'єктів з урахуванням обмежень, умов, пов'язаних з організацією взаємодії, можливостями засобів відображення, станом обчислювальної техніки.

Геометричне моделювання вивчає методи побудови числових моделей геометрії реальних чи уявних об'єктів, а також методи управління цими моделями.

Основи аналітичної геометрії враховують сучасні досягнення в цій галузі. Широко застосовуються матричні методи опису і перетворення інформації. Загальні принципи опису і виконання основних перетворень геометричного моделювання стають зрозумілими при вивченні відомих методів матричного надання зображень і алгоритмів їх перетворень. Вони реалізовані в стандартах GKS (двохмірна графіка) і у PHIGS (трьохмірна графіка), та у OpenGL і в інших системах та програмах. Існує їх реалізація у вигляді СБІС.)

У аналітичній фазі проектування комп'ютери здобули широкого застосування. Програмних пакетів для аналізу напружень, контролю зіткнень і кінематичного аналізу існує дуже багато. Ці програмні пакети відносяться до засобів автоматизованого конструювання (CAE). Головна проблема, пов'язана з їх використанням полягає в необхідності формування аналітичної моделі. Проте, аналітична модель не ідентична концептуальному проекту - вона виводиться з нього шляхом виключення неістотних деталей і редукції розмірностей. Необхідний рівень абстракції залежить від типу аналізу і бажаної точності рішення. Отже, автоматизувати процес абстрагування досить складно, тому аналітичну модель часто створюють окремо.

Зазвичай абстрактна модель проекту створюється в системі розробки робочих креслень або в системі геометричного моделювання, а іноді за допомогою засобів аналітичного пакету. Аналітичні пакети потребують, щоб досліджувана структура була представлена у вигляді об'єднання окремих ланок (сіток), що розділяють об'єкт на окремі ділянки, зручні для комп'ютерної обробки. Якщо аналітичний

пакет може генерувати сітку автоматично, конструктору залишається задати тільки межі абстрактного об'єкту.

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

Метод моментів, метод кінцевих елементів

Метод моментів (ММ)^[1] або метод граничних елементів (МГЕ) є чисельним методом розв'язку лінійних диференціальних рівнянь, які були сформульовані як інтегральні рівняння (тобто в граничних інтегральних формах). Він може бути застосований в багатьох областях техніки і науки, в тому числі гідромеханіки, акустики, електромагнетизму, механіки руйнування і пластичності.

ММ стає все більш поширеним з 1980-х років. Тому що він вимагає розрахунку лише граничних значень, а не значень на всьому просторі, це значно більш ефективно, з точки зору обчислювальних ресурсів, для завдань з невеликою поверхні до об'єму. По суті, він працює шляхом побудови сітки над модельованою поверхнею. Проте для багатьох проблем, МГЕ значно обчислювально менш ефективні, ніж обсяжно-дискретизаційні методи (метод кінцевих елементів, метод кінцевих різниць, метод скінченних об'ємів). Спосіб скінченно-елементних матриць, як правило, призводить до повністю заповненої матриці. Це означає, що умови зберігання і обчислювальний час буде мати тенденцію зростати по квадрату проблеми. Розмір. На відміну від скінченно-елементних матриць, як правило, смугасті (елементи тільки локально приєднано) і на зберігання вимоги до системи матриць, як правило, зростають лінійно з проблемою розміру. Методи стиснення (наприклад мультипольних розкладань або хрест адаптивної апроксимації/ієрархічних матриць) можуть бути використані для вирішення таких проблем, хоч і ціною додаткової складності і з успіхом-курс, який значною мірою залежить від природи і геометрії задачі.

МГЕ застосовується до проблем, для яких функції Гріна може бути обчислено. Вони зазвичай охоплюють поля в лінійних однорідних середовищах. Це накладає значні обмеження на діапазон і спільності проблем, придатних для граничних елементів. Нелінійності може бути внесено в розробку, хоча вони, як правило, впроваджують об'ємні інтегралі, які вимагають обсягу для дискретизації до рішення, витягаючи з часто цитованих переваг МГЕ.

Підпроцес аналізу може виконуватися у поєднанні з оптимізацією проекту за відповідними параметрами, застосовуючи алгоритми пошуку оптимальних рішень. Процес оптимізації може входити до загальної системи автоматизованого проектування, але доцільно здійснювати оптимізацію окремо.

Фаза оцінки проекту потребує виготовлення прототипу, який можна сконструювати за допомогою програмних пакетів швидкого прототипування (Прототип (дизайн, конструювання, моделювання) — працююча модель, дослідний зразок пристрою або деталі). Такі пакети вважаються програмами для автоматизованої підготовки виробництва (САМ). Дані, що визначають форму прототипу, виходять у результаті геометричного моделювання. Швидке прототипування - зручний спосіб конструювання прототипу, проте у сучасних умовах за допомогою відповідних програмних засобів зручніше користуватися віртуальним прототипом, який часто називається «цифровою копією» (digital mock-up), що дає змогу одержати такі ж дані, що і реальний прототип.

Побудова цифрової копії називається віртуальним прототипуванням. **Віртуальний прототип** може бути створений у спеціалізованій програмі геометричного моделювання.

Прототипне програмування — стиль об'єктно-орієнтованого програмування, в якому немає поняття класу, а повторне використання (успадкування) проводиться шляхом клонування існуючого примірника об'єкта — прототипу.

Остання фаза процесу розробки - підготовка проектної документації. На цьому етапі надзвичайно корисним виявляється використання систем підготовки робочих креслень.

Процес виробництва включає планування випуску, проектування і придбання нових інструментів, замовлення матеріалів, програмування машин з ЧПУ, контроль якості і упакування.

Комп'ютерні системи, які використовуються у цих операціях, можуть бути класифіковані як системи автоматизованого виробництва.

Наприклад, програма автоматизованої технологічної підготовки (computer-aided process planning - **CAPP**) використовується на етапі підготовки виробництва і відноситься до систем автоматизованого виробництва (СAM).

Процес підготовки виробництва складно автоматизувати, тому повністю автоматичних систем технологічної підготовки не існує. Проте існують програмні пакети, що генерують код для верстатів з числовим програмним управлінням. Верстати цього класу дозволяють одержати деталь потрібної форми за даними, які надходять з ЕОМ.

До систем автоматизованого виробництва відносять також програмні пакети, керування рухом роботів при збірці компонентів і переміщенні їх між операціями, а також пакети, що дозволяють програмувати координатно-вимірювальну машину (coordinate measuring machine - CMM).

NI Multisim

Проектування електронних пристроїв в Multisim 12.0. Вступ

Розроблена National Instruments програмне середовище Multisim 12.0 & Ultiboard 12.0 це ціла лабораторія схемотехнічного моделювання, яка призначена для проектування радіоелектронних схем і друкованих плат на професійному рівні. Це програмне забезпечення має простий зручний інтерфейс і дозволяє з легкістю моделювати складні принципові схеми і проектувати багат шарові друковані плати. Multisim (рис. 1) дозволяє оптимізувати свої проекти, мінімізувати помилки і знизити число ітерацій при розробці. У поєднанні з Ultiboard (рис. 2) - програмним забезпеченням для проектування топології друкованих плат, Multisim є платформою наскрізного проектування.

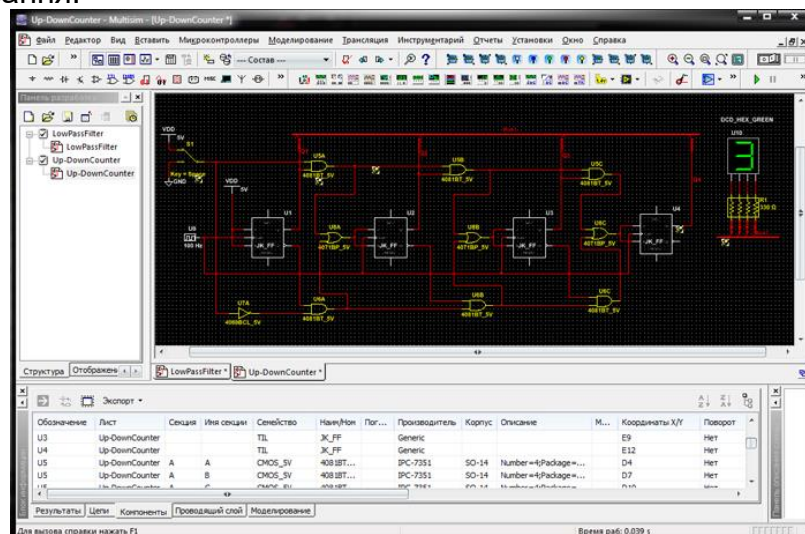


Рис. 1. Вікно програми Multisim

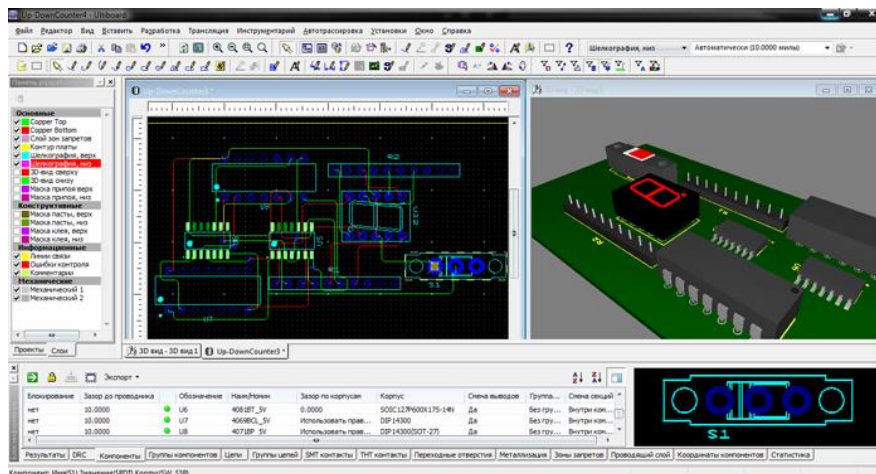


Рис. 2. Вікно програми Ultiboard

В останніх версіях програми Multisim використовуються математичні модулі і моделі компонентів SPICE. Пакет MCU дозволяє включати в емуляцію змішаної схеми певні мікроконтролери. Особливістю програми Multisim є наявність віртуальних вимірювальних приладів, що імітують реальні аналоги. Наявні в програмі бібліотеки включають в себе великий набір широко поширених електронних компонентів (рис. 3). Є можливість підключення і створення нових бібліотек компонентів.



Рис. 3. Розділи компонентів основної бібліотеки Multisim

Бібліотеки програми містять такі компоненти:

- джерела напруги і струму, заземлення (джерела постійного і змінного напруги, джерела прямокутних імпульсів і сигналу через певні проміжки часу, постійні і змінні джерела струму);
- базові компоненти (резистор, змінний резистор, конденсатор, змінний конденсатор, котушка індуктивності, котушка зі змінною індуктивністю, трансформатор, ключі, реле, перемикачі);
- діоди (діод, стабілітрон, світлодіод, діодний місток, діод Шоттки, симистор);
- транзистори (біполярні, польові, МОП-транзистори);
- аналогові компоненти (операційний, диференційний, інвертується підсилювач, компаратор);
- цифрові мікросхеми ТТЛ;
- цифрові мікросхеми КМОП;
- мікроконтролери (8051, 8052, PIC16F84, PIC16F84A - з можливістю програмування) і мікросхеми пам'яті RAM, ROM;
 - підключаються зовнішні пристрої (дисплеї, термінали, клавіатура);
 - цифрові пристрої (логічні елементи, мікроконтролери, мікропроцесори, мікросхеми пам'яті, тригери, регістри, лічильники, мультиплектори, мікросхеми цифрової обробки сигналів, програмовані логічні інтегральні схеми);
 - гібридні елементи (таймер, мультивибратор, аналогово-цифровий перетворювач);

- звукові і світлові індикатори (семисегментний індикатор, кольорові пробники логічного рівня, зумер, лампа розжарювання);

- роз'єми.

Широкий набір приладів дозволяє проводити вимірювання різних величин, задавати вхідні впливу, будувати графіки. Всі прилади зображуються у вигляді, максимально наближеному до реального, тому працювати з ними просто і зручно. У програмі використовується великий набір віртуальних інструментів (рис. 4) для проведення вимірювань: мультиметр, функціональний генератор, ватметр, дво- і двоканальний осцилограф, характеріограф-IV, плоттер Боде, частотомір, генератор слів, логічний аналізатор, логічний перетворювач, вимірювач нелінійних спотворень, аналізатор спектру, панорамний аналізатор, струмовий пробник, функціональний генератор Agilent, мультиметр Agilent, осцилограф Agilent, осцилограф Tektronix, вимірювальний пробник, прилади LabVIEW:

- вимірювач характеристик напівпровідникових приладів (BJT Analyzer);
- вимірювач комплексних опорів (Impedance Meter);
- мікрофон (Microphone);
- динамік (Speaker);
- аналізатор сигналів (Signal Analyzer);
- генератор сигналів (Signal Generator);
- потоковий генератор сигналів (Streaming Signal Generator).

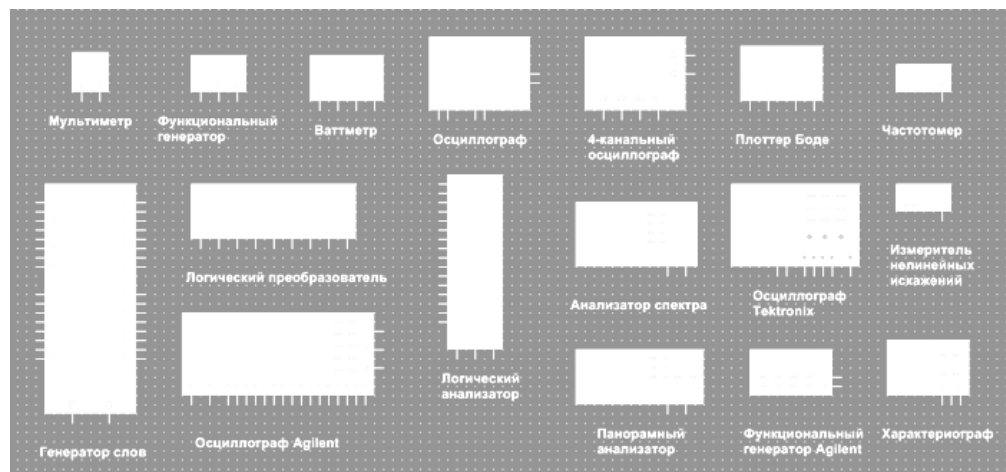


Рис. 4. Віртуальні вимірювальні прилади програми Multisim

Віртуальні прилади Multisim - це програмні моделі контрольно-вимірювальних приладів, які відповідають реальним приладів. Використання віртуальних приладів в Multisim - це простий і зрозумілий спосіб взаємодії зі схемою, майже не відрізняється від традиційного при тестуванні або створенні радіоелектронного пристрою, найпростіший спосіб перевірити поведінку розробленої схеми. Результати моделювання можна вивести на принтер або передати в текстовий або графічний редактор для їх подальшої обробки. Необхідною умовою для ефективного використання Multisim є розуміння алгоритмів, реалізованих в програмі і знання принципів побудови моделей електронних компонентів. Неправильне застосування моделей компонентів, настройка і використання обчислювальних алгоритмів можуть привести до отримання помилкових результатів моделювання.

Програма Ultiboard використовується для розробки друкованих плат, виконання певних функцій CAD систем і підготовки результатів проектування до виробництва. У комплекті з Multisim, Ultiboard є потужним засобом для проектування електронних пристроїв, які мають набір команд дозволяють створювати і редагувати контактні площадки і компоненти електрорадіоелементів друкованої плати. Програма Ultiboard має можливість автоматизованого розміщення компонентів на платі (рис. 5) а також ручний і автоматичної трасування (рис. 6), і надає розробникам можливість працювати в її середовищі як в системі 3D моделювання, в результаті чого друкована плата і її компоненти будуть відображені в реальному вигляді. Засоби Ultiboard дозволяють

формувати тривимірні моделі компонентів з плоских графічних даних з бібліотек топологічних посадочних місць, розробляти власні моделі за допомогою імпорту складних контурів компонентів з механічних САПР, а також за допомогою спеціального майстра.

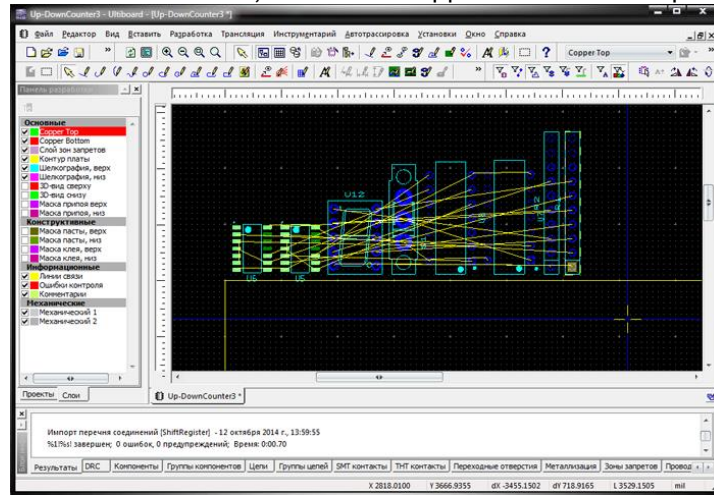


Рис. 5. Імпортований з Multisim проект

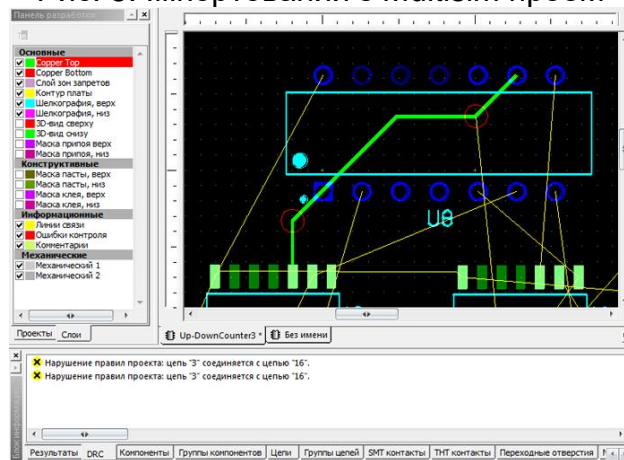


Рис. 6. Кольорові маркери в місцях виникнення помилок і інформація про помилки допущені в процесі ручного трасування

Для більшості розроблюваних багат шарових друкованих плат характерна наявність внутрішніх повністю або частково металізованих шарів, використовуваних, як правило, для підведення живлення і окремих областей металізації на сигнальних шарах, які використовуються в основному для екранування. На малюнку 7 показана розроблена в Ultiboard 3D-модель плати до і після створення шару живлення.

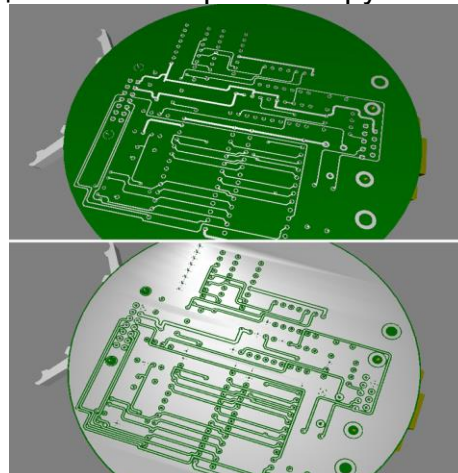


Рис. 7. 3D-модель плати до і після створення шару живлення

У програмі Ultiboard є можливість створення компонентів електрорадіоелементів друкованої плати, для чого використовується майстер «Творець корпусу», який надає розробнику можливість створювати компоненти з штирьовими і планарних висновками. Процес створення компонента за допомогою майстра складається з

декількох кроків, на яких розробнику буде запропоновано заповнити поля введення - задати розміри контуру корпусу компонента, загальне число висновків, форму контактних майданчиків, відстань між контактами в посадковому місці.

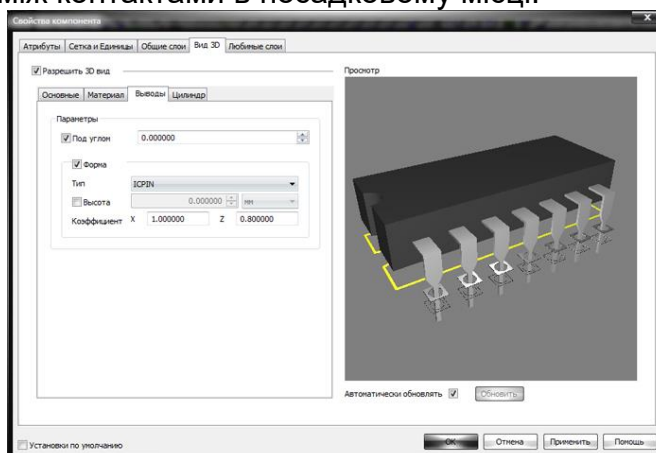


Рис. 8. Створення 3D-форми компонента зі штирові висновками в Ultiboard

За допомогою даного майстра розробник має можливість створювати компоненти:

- мікросхем і деяких інших електрорадіоелементів в корпусах Dual In-line Package (DIP), монтаж яких проводиться в отвори друкованої плати. В таких корпусах можуть випускатися різні напівпровідникові або пасивні електрорадіоелементи (мікросхеми, збірки діодів, генератори, підсилювачі);
- мікросхем, що мають планарні висновки, розташовані з чотирьох сторін корпусу Quad Flat Package (QFP);
- транзисторів і інших напівпровідникових приладів, в тому числі і мікросхем (наприклад, інтегральних стабілізаторів напруги);
- мікросхем, які виробляються в корпусах BGA / PGA.

Багато проектувальники вибрали Multisim & Ultiboard як середовище розробки електронних пристроїв завдяки наявності інтерактивних компонентів, можливості контролю і зняття даних з вимірювальних приладів в процесі моделювання схем, а також завдяки можливості проведення вимірювання аналогових і цифрових сигналів. Великою перевагою є наявність в даному середовищі розробки програми проектування топології друкованих плат.

2.1. Структура САПР

Структура САПР. Узагальнено структуру САПР можна представити у вигляді функціональної і забезпечуючої частин (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Структурна схема САПР

Функціональна частина САПР на схемі представлена у вигляді набору підсистем, що вирішують питання проектування: технологічної підготовки виробництва, моделювання, інформаційного пошуку, інженерних розрахунків, управління, випробувань, виготовлення, машинної графіки. Підсистеми є основними структурними ланками САПР і розрізняються за призначенням і по відношенню до об'єкту проектування.

Кожна із підсистем САПР може бути визначена як комплекс програмних засобів, призначених для виконання певного процесу проектування, а програмні компоненти взаємозв'язані з технічними засобами САПР.

Існуючий вітчизняний і зарубіжний досвід у галузі автоматизації проектування свідчить про те, що розробка, впровадження і ефективне використання програмних комплексів призначених для автоматизації процесу проектування реалізованих на базі сучасних ЕОМ вимагають комплексного рішення широкого спектру питань: організаційних, технічних, математичних, програмних, лінгвістичних, інформаційних і ін. Вирішення цих проблем базується на відповідних видах забезпечення. Складність розробок великих комплексів взаємозв'язаних програм полягає в тому, що ефективність вирішення кожної конкретної проблеми, визначається на завершальному етапі роботи, коли вся або більша частина системи починає функціонувати; це зумовлює складність створення високоефективних програмних комплексів при первинній розробці. Система стає дієвою тільки у процесі створення, випробування і удосконалення.

Підсистема інформаційного пошуку - це комплекс мовно-алгоритмічних засобів, призначений для зберігання і пошуку у певній множині елементів (документів, стандартів, норм, креслень виконаних конструкцій, патентів, характеристик матеріалів і т.п.) та представлення інформації, що відповідає на запит.

Підсистема інженерних розрахунків разом з підсистемою машинної графіки зазвичай застосовується на початковому етапі створення САПР і є сукупністю програмних засобів, призначених для виконання різних розрахунків (геометричних, міцнісних та ін.) у режимі діалогу «людина-машина». Робота розвиненої підсистеми інженерних розрахунків тісно пов'язана з використанням різного роду математичних моделей проєктованих об'єктів або процесів, для автоматизованого отримання яких призначена *підсистема моделювання*. Більшість сучасних САПР, крім обчислювальних, володіє широким спектром можливостей для введення, обробки, зберігання і виведення графічної інформації, що реалізуються програмними засобами підсистеми машинної графіки.

Підсистема випробувань є комплексом програмних засобів, призначених для створення програм управління випробувальним устаткуванням, обробки результатів випробувань, проведення «чисельного експерименту» з використанням математичних моделей об'єкту проєктування і процесу його навантаження. Чисельний експеримент дуже важливий в процесі проєктування, оскільки дозволяє визначити властивості проєктованого об'єкту без виготовлення дослідних зразків і дає змогу відразу відмовитися від безперспективних варіантів, що значно зменшує витрати часу і матеріальних засобів на створення об'єкту.

Підсистема виготовлення призначена підготувати програми для верстатів і автоматичних ліній з числовим програмним управлінням

Підсистема технологічної підготовки виробництва, як правило, виходить за рамки САПР і є самостійною системою (АСТПВ - автоматизована система технологічної підготовки виробництва).

Підсистема управління призначена для об'єднання роботи інших підсистем на різних етапах процесу проєктування і виконання функцій координатора у колективному процесі ухвалення рішень.

Не обов'язково в кожній САПР повинен бути представлений весь набір функціональних підсистем - вони можуть поєднуватися довільно залежно від завдань, що стоять перед системою. Необхідно відзначити, що всі функціональні підсистеми тісно взаємозв'язані, тому часто неможливо провести між ними чіткі межі. Так підсистема машинної графіки може видавати результати у вигляді програми для устаткування з числовим програмним управлінням, що безпосередньо пов'язує її з підсистемами технологічної підготовки виробництва і виготовлення. А підсистема машинної графіки може видавати замість креслень розкрий листового матеріалу, що поєднує її з підсистемою виготовлення.

Деякі підсистеми залежно від ступеня їх розвитку або призначення можуть існувати як самостійні системи (наприклад, інформаційно-пошукові системи, графічні та ін.).

Засоби забезпечення

САПР складається із семи взаємозв'язаних засобів забезпечення:

- технічне (ТЗ) - включає різні апаратні засоби (ЕОМ, периферійні пристрої, мережне комутаційне устаткування, лінії зв'язку, вимірювальні засоби);
- математичне (МЗ) - об'єднує математичні методи, моделі й алгоритми для виконання проектування;
- програмне (ПЗ) - представлене комп'ютерними програмами САПР;
- інформаційне (ІЗ) - складається з баз даних (БД), систем керування базами даних (СКБД), а також інших даних, використовуваних при проектуванні; відзначимо, що вся сукупність використовуваних при проектуванні даних називається інформаційним фондом САПР, а БД разом з СКБД має назву банку даних (БНД);
- лінгвістичне (ЛЗ) - виражається мовами спілкування між проектувальниками і ЕОМ, мовами програмування і мовами обміну даними між технічними засобами САПР;
- методичне (МтЗ) - включає різні методики проектування, іноді до МтЗ відносять також математичне забезпечення;
- організаційне (ОЗ) - представлене штатними розкладами, посадовими інструкціями та іншими документами, що регламентують роботу проектного підприємства.

Забезпечуюча частина - це технічні засоби і документи на машинних і інших інформаційних носіях, які необхідні у процесі проектування.

На відміну від функціональної забезпечуюча частина повинна входити в систему всіма своїми компонентами навіть у разі різного ступеня досконалості кожної з них. За відсутності будь-якої складової забезпечуючої частини не можна говорити про існування САПР у цілому, оскільки всі компоненти тісно взаємозв'язані.

Технічне забезпечення САПР є сукупністю взаємозв'язаних і взаємодіючих технічних засобів, що включають ЕОМ і працюючі під її управлінням зовнішні пристрої, призначені для виконання автоматизованого проектування. Технічне забезпечення ділиться на групи засобів програмної обробки даних (процесори і запам'ятовуючі пристрої у яких реалізуються перетворення даних і програмне управління обчисленнями), підготовки, введення і відображення даних (для обміну даними між користувачем і ЕОМ), виводу, зберігання і передачі даних (запам'ятовуючі, друкуючі та інші графічні пристрої і засоби зв'язку з віддаленими терміналами).

Математичне забезпечення САПР об'єднує опис математичних моделей проєктованих об'єктів і математичних методів, реалізованих у САПР. Елементи математичного забезпечення надзвичайно різноманітні. Серед них є інваріантні елементи; до них відносяться принципи побудови функціональних моделей, методи чисельного рішення алгебраїчних і диференціальних рівнянь, постановки і вирішення задач на визначення екстремуму та ін.

Програмне забезпечення САПР є описом алгоритмів проектування, використаних у САПР, а також документів з вихідними текстами програм, програмами на машинних носіях і експлуатаційними документами.

Інформаційне забезпечення САПР об'єднує різні дані, необхідні для виконання автоматизованого проектування, які можуть бути представлені у вигляді документів на різних носіях, що містять відомості довідкового характеру про матеріали, комплектуючі вироби, типові проектні рішення, параметри елементів, зведення про стан поточних розробок у вигляді проектних рішень, параметрів проєктованих об'єктів і т.п.

Лінгвістичне забезпечення САПР представлено сукупністю мов, які застосовуються для опису процедур автоматизованого проектування і проектних рішень, а також мовами програмування.

Методичне забезпечення САПР складають документи, що містять правила проектування в даній системі.

Організаційне забезпечення САПР включає положення, інструкції, накази, штатні розклади, кваліфікаційні вимоги і інші документи, що регламентують організаційну структуру підрозділів проектної організації і взаємодію підрозділів з комплексом засобів автоматизованого проектування.

Лекція 2.

2. ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ПРОЕКТУВАННЯ

2.2. Призначення CAD/CAE/CAM систем

CAD/CAE/CAM системи призначені для комплексної автоматизації проектування, конструювання і виготовлення продукції машинобудування. У них фактично об'єднані три системи різного призначення, розроблені на єдиній базі, аббревіатури, які розшифровуються таким чином:

CAD - Computer Aided Design - комп'ютерна підтримка конструювання;

CAE - Computer Aided Engineering - комп'ютерна підтримка інженерного аналізу;

CAM - Computer Aided Manufacturing - комп'ютерна підтримка виготовлення;

PDM - Product Data Management - системи керування проектними даними.

Розподіл CAD/CAE/CAM систем за етапами технологічної підготовки виробництва (ТПВ):

Етап конструювання (*CAD, CAE*) - припускає об'ємне і плоске геометричне моделювання, інженерний аналіз на розрахункових моделях високого рівня, оцінку проектних рішень, отримання креслень.

Етап технологічної підготовки виробництва (ЕТПВ) - на Заході називають *CAPP (Computer Automated Process Planing)* – припускає розробку технологічних процесів, технологічного оснащення, керуючих програм (КП), для устаткування з чисельно-програмним керуванням (ЧПК). Сюди входить завдання САПР ТП – розробка технологічної документації (маршрутної, операційної), що доводиться до робочих місць і регламентує процес виготовлення деталі.

Конкретний опис обробки на устаткуванні з ЧПК у вигляді керуючих програм вводиться в систему автоматизованого керування виробничим устаткуванням, яку на Заході називають *CAM*.

CAE системи

Системи, використовувані для аналізу й оцінки функціональних властивостей проєктованих двигунів, їх систем, вузлів і деталей, охоплюють широке коло завдань моделювання пружно-напруженого, деформованого, теплового стану, коливань конструкції, стаціонарного і нестаціонарного газодинамічного і теплового моделювання з урахуванням в'язкості, турбулентних явищ, прикордонного шару і т.п. Найбільш поширені *CAE* - системи, що використовують вирішення систем диференціальних рівнянь в приватних похідних методом кінцевих елементів (МКЕ). Вони діляться на універсальні системи аналізу з використанням МКЕ і спеціалізовані. В авіадвигунобудуванні найбільш відомі такі універсальні системи, як *Nastran, Ansys*, російські *ІСПА, КОСМОС* та інші, що дозволяють виконувати різні види аналізу на розподіленому рівні. Спеціалізовані системи МКЕ орієнтовані на конкретні види аналізу. Прикладами таких систем можуть служити пакети *Flotran, Fluid*, призначені для моделювання гідрогазодинамічних процесів, *OPTRIS* - для моделювання деформацій та ін.

PDM системи

Використовують на всіх етапах проектування, дозволяючи здійснювати режим колективного проектування, автоматизуючи функції керування, пов'язані з цим режимом: призначення і забезпечення класу відповідальності, прав доступу, ведення бази даних проекту і т.д.

4. КЛАСИФІКАЦІЯ САПР

САПР характеризують наступні ознаки: тип, різновид, складність об'єкта проектування; рівень, комплексність автоматизації проектування; характер, число проектних документів; число рівнів у структурі технічного забезпечення САПР.

Три перші ознаки відображають особливості об'єктів проектування, наступні чотири - можливості систем, восьма ознака - особливості технічної бази САПР. Для отримання навіть загального уявлення про конкретну САПР вона повинна бути оцінена за всіма перерахованими ознаками. Розглянемо їх докладніше [3].

Тип об'єкта проектування. ДСТ передбачає поділ САПР на дев'ять груп:

- 1) САПР виробів машинобудування;
- 2) САПР виробів приладобудування;
- 3) САПР технологічних процесів у машино- і приладобудуванні;
- 4) САПР об'єктів будівництва;
- 5) САПР технологічних процесів у будівництві;
- 6) САПР програмних виробів;
- 7) САПР організаційних систем.

Решта груп (8 і 9) є резервними і призначені для виділення і кодування САПР, що не відносяться до перерахованих угруповань.

Різновид об'єктів проектування. ДСУ не встановлює спеціальних позначень на об'єкти проектування, а вимагає їх вказівки і кодування відповідно до систем позначення документації, що діють у кожній галузі промисловості, на об'єкти, що проектуються системою.

Складність об'єкта проектування. Можна виділити САПР:

- 1) простих об'єктів з числом складових частин до 10^2 ;
- 2) об'єктів середньої складності ($10^2 \dots 10^3$);
- 3) складних об'єктів ($10^3 \dots 10^4$);
- 4) дуже складних об'єктів ($10^4 \dots 10^6$);
- 5) об'єктів дуже високої складності (число складових частин понад 10^6).

Складовою частиною об'єкта проектування, що є технічним комплексом, спорудою або виробом, є деталь. Якщо об'єктом проектування буде технологічний процес, то виділити його складові частини складніше. Тут два підходи, один з яких заснований на розділенні технологічного процесу на елементарні технологічні операції, інший - на розділенні об'єкта на частини умовно відповідно до номенклатури технологічної документації, яка випускається.

Рівень автоматизації проектування. Виділяють системи проектування: низькоавтоматизованого (до 25% проектних процедур); середньоавтоматизованого (25...50%); високоавтоматизованого (понад 50%).

Щоб віднести САПР до третьої групи, в ній повинні бути використані методи багатоваріантного оптимального проектування.

Комплексність автоматизації проектування. Комплексність автоматизації проектування обумовлює такі модифікації САПР: одноетапна САПР; багатоетапна САПР; комплексна САПР (виконує всі етапи проектування, встановлені для об'єкта, що проектується системою).

У наведеній вище класифікації під етапом проектування розуміється умовно виділена частина проектування, в результаті якої знаходять проектне рішення (сукупність проектних рішень), необхідне й достатнє для розгляду і ухвалення рішення про продовження проектування.

Кількість рівнів у структурі технічного забезпечення визначає наступні види САПР:

однорівнева САПР - система, побудована на основі ЕОМ середнього або високого класу з штатним набором периферійних пристроїв, який в необхідних

випадках може бути доповнений засобами обробки графічної інформації; дворівнева САПР - система, побудована на основі ЕОМ середнього і високого класу і одного або декількох автоматизованих робочих місць (АРМ), що включають міні-ЕОМ; триврівнева САПР - система, побудована на основі ЕОМ високого класу, одного або декількох АРМ і периферійного програмно-керуючого устаткування (верстати з ЧПК, промислові роботи та ін.).

Характер проектних документів. Встановлено п'ять класифікаційних груп САПР, що випускають документи: на паперовій стрічці і (або) аркуші; на машинних носіях; на фотоносіях (у вигляді мікрофільмів, мікрофіш, фотошаблонів та ін.); комбіновані (виконують документи на двох носіях даних або більше). П'ята група є резервною.

Число проектних документів, що випускаються. Розрізняють САПР малої, середньої і високої продуктивності. При цьому число проектних документів за рік в перерахунку на формат А4 коливається від 103 до 106.

□ □ **КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:**

1. За якими ознаками класифікують САПР?
2. Наведіть класифікацію САПР за типом об'єкта проектування.
3. Наведіть класифікацію САПР за складністю об'єкта проектування.
4. Наведіть класифікацію САПР за рівнем автоматизації проектування.
5. Наведіть класифікацію САПР за комплексністю автоматизованого проектування.
6. Наведіть класифікацію САПР за характером проектних документів.

За масштабами розрізняють окремі програмно-методичні комплекси (ПМК) САПР, наприклад, комплекс аналізу міцності механічних виробів відповідно до методу кінцевих елементів (МКЕ) або комплекс аналізу електронних схем, системи з унікальною архітектурою не тільки програмного (software), але і технічного (hardware) забезпечення.

За характером базової підсистеми розрізняють такі різновиди САПР:

1. САПР на базі підсистеми машинної графіки і геометричного моделювання. Ці САПР орієнтовані на додатки, де основною процедурою проектування є конструювання та визначення просторових форм і взаємного розташування об'єктів. Тому до цієї групи систем відносяться більшість графічних ядер САПР в області машинобудування.

У даний час з'явилися уніфіковані графічні ядра, вживані більш ніж в одній САПР, це ядра Parasolid фірми EDS I'mgraphics і ACIS фірми Intergraph.

2. САПР на базі СКБД. Вони орієнтовані на додатки, в яких при порівняно нескладних математичних розрахунках переробляється великий обсяг даних. Такі САПР переважно зустрічаються, наприклад, при проектуванні бізнес-планів, але мають місце також при проектуванні об'єктів, подібних до щитів керування в системах автоматики.

3. САПР на базі конкретного прикладного пакету. Фактично це автономно використовувані програмно-методичні комплекси, наприклад, імітаційного моделювання виробничих процесів, розрахунку міцності за методом кінцевих елементів, синтезу й аналізу систем автоматичного керування і т.д. Часто такі САПР відносяться до систем САЕ. *Прикладами можуть служити програми логічного проектування на базі мови VHDL, математичні пакети типу MATHCAD.*

4. Комплексні (інтегровані) САПР, що складаються із сукупності підсистем попередніх видів САПР. Характерними прикладами комплексних САПР є САЕ/CAD/CAM-системи в машинобудуванні або САПР ВІС. Так, САПР ВІС включає СКБД і підсистеми проектування компонентів, принципів, логічних і функціональних схем, топології кристалів, тестів для перевірки придатності виробів. Для керування такими складними системами застосовують спеціалізовані системні середовища.

2.3. Рівні CAD/CAE/CAM систем

Залежно від функціональних можливостей, набору модулів і структурної організації CAD/CAE/CAM системи можна умовно розділити на три групи: легкі, середні й важкі системи (рис.2.1).

Легкі системи. Це перший в історичному розвитку, клас систем. До цієї категорії можна віднести такі системи, як CAD-KEY, Personal Designer, ADEM, T-Flex. Вони, як правило, використовуються на персональних комп'ютерах окремими користувачами. Такі системи призначені в основному для якісного виконання креслень. Вони можуть також використовуватися для двовимірного (2D) моделювання і нескладних тривимірних побудов.

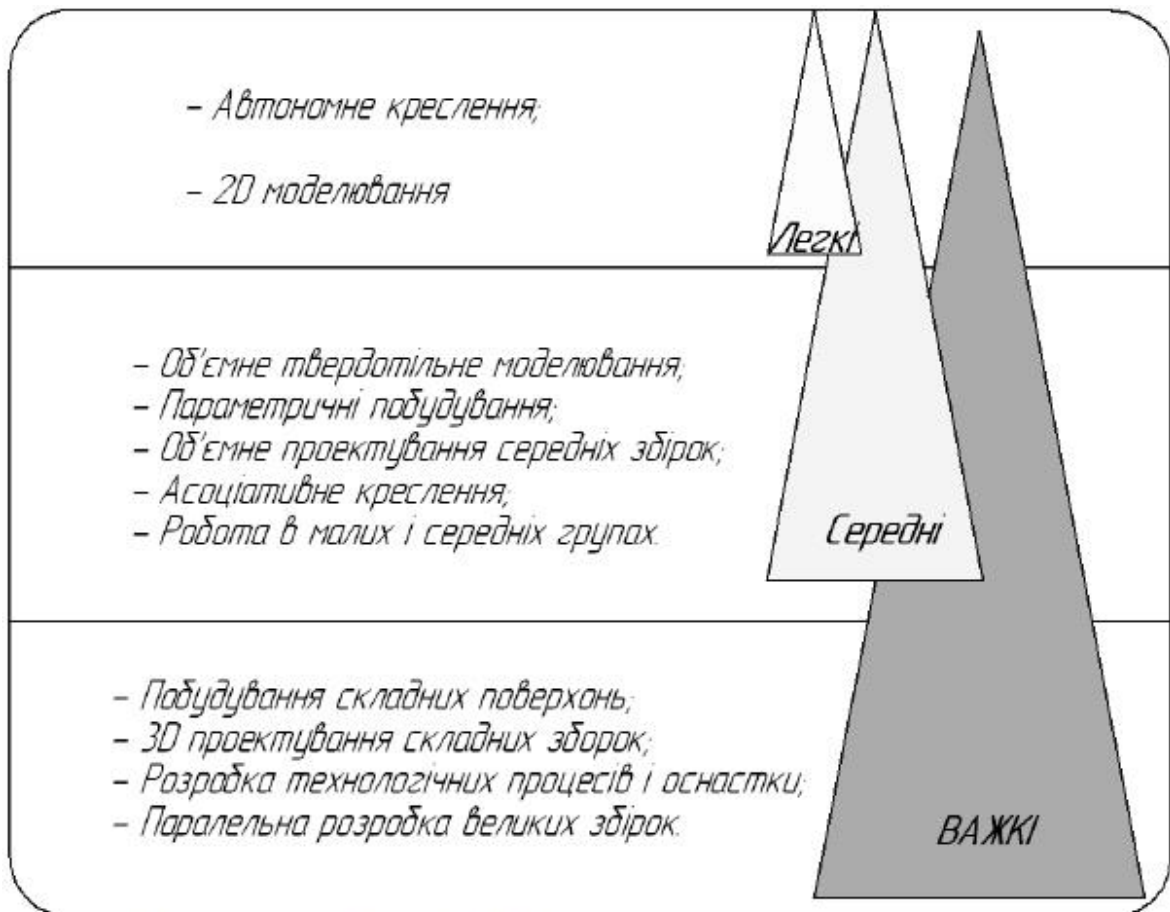


Рис.2.1 – Класи CAD/CAE/CAM систем і обсяги виконуваних функцій

Ці системи досягли останнім часом високого рівня досконалості. Вони прості у використанні, містять безліч бібліотек стандартних елементів, підтримують різні стандарти оформлення графічної документації.

Системи середнього класу. Це клас, що порівняно недавно з'явився, щодо недорогих тривимірних систем CAD. До нього відносяться системи AMD, Solid Edge, Solid Works, AUTOCAD, КОМПАС і т.д. Їх поява пов'язана із збільшенням потужності персональних комп'ютерів і розвитком операційної системи. З їх допомогою можна вирішувати до 80% типових машинобудівних завдань, не залучаючи великі й дорогі CAD/CAM системи важкого класу.

Більшість **систем середнього класу** ґрунтуються на тривимірному твердотільному моделюванні. Вони дозволяють проектувати більшість деталей загального машинобудування, збірні одиниці середнього рівня складності, виконувати спільну роботу групам конструкторів. У цих системах можливо проводити аналіз перерізів і зазорів у складках.

Системи важкого класу. Такі системи надають повний набір інтегрованих засобів проектування, виробництва, аналізу виробів. У цю категорію систем входять ANSYS, EDS/Unigraphics, Inventor, NASTRAN, ALIAS, ADAMS, I-DEAS, CATIA, Pro/ENGINEER, CADD5, EUCLID, Cimatron. Вони використовують потужні апаратні засоби, як правило, робочі станції з операційною системою UNIX.

Системи важкого класу дозволяють вирішувати широкий спектр конструкторсько-технологічних завдань. Окрім функцій, доступних системам середнього класу, важким CAD/CAM системи доступно:

- проектування деталей найскладнішого типу, що містять дуже складні поверхні;
- виконання побудови поверхонь за результатами обміру реальної деталі, виконання згладжування поверхонь і складних з'єднань;
- проектування масивних зборок, що вимагають ретельного компонування і що містять елементи інфраструктури (кабельні джгути, трубопроводи);
- робота зі складними збірками в режимі варіантного аналізу для швидкого перегляду й оцінки якості компонування виробу.

Прийнято ділити CAD/CAM - системи за їх функціональними характеристиками на три рівні (верхній, середній і нижній). У 80-ті роки і на початку 90-х такий розподіл ґрунтувався на значному розходженні характеристик використовуваного для САПР обчислювального обладнання. Апаратною платформою CAD/CAM - систем верхнього рівня були дорогі високопродуктивні робочі станції з ОС Unix. Така техніка дозволяла виконувати складні операції як твердотілого, так і поверхневого геометричного моделювання. CAD-системи нижнього рівня призначалися тільки для автоматизації креслярських робіт, що виконувалися на низькопродуктивних робочих станціях і персональних комп'ютерах.

У міру поліпшення характеристик персональних комп'ютерів вдавалося створювати порівняно недорогі системи з можливостями параметричного та асоціативного 3D - моделювання.

Такі системи стали відносити до CAD/CAM - систем середнього рівня. На сьогоднішній день розподіл CAD/CAM-систем на САПР верхнього, середнього і нижнього рівнів ще зберігається, однак межі між ними є нечіткими.

2.4. Модульність CAD/CAE/CAM систем

Для сучасних систем CAD/CAM характерний модульний принцип побудови. Нижче перерахований склад базових модулів для CAD, CAM і PDM систем [2].

Модулі CAD систем:

- створення об'ємної моделі деталі і вузлів із статичним аналізом складності виробів;
- проектування поверхонь будь-якої складності;
- параметризація розмірів деталей;
- оформлення збірних і моделювальних креслень за об'ємними моделями відповідно до стандартів;
- фотореалістичне відображення виробу з урахуванням текстури матеріалу, кольору й шорсткості поверхні;
- виведення зображення на плотер;
- імпорт-експорт моделі між різними CAD через інтерфейси.

Модулі CAM систем:

- проектування технологічних процесів виготовлення продукції і оснащення;
- динамічний контроль процесу збирання;
- вибір параметрів холодного штампування (імітується весь процес штампування, зокрема «накладення» штампувальних пристроїв на поверхню деталі);
- створення і настройка програм для верстатів з ЧПК (моделюється кінематика верстата, його робоча зона, стійка керування, заготовка, її

кріплення і інструмент; на екрані детально відображується процес обробки);

- оптимізація параметрів процесів литва деталей з пластмас;
- модулі програмування для верстатів з ЧПК;
- створення, редагування і моделювання програм вимірювання і контролю відповідності деталі її об'ємної моделі за допомогою координатно-вимірювальної машини.

Модулі PDM систем:

- керування загальною для розробників базою даних;
- інформаційно-пошукова система документування;
- автоматизований розподіл завдань між розробниками;
- завдання статусу кожного розробника;
- визначення структури інформаційних потоків;
- визначення комплексу документації;
- контроль змін;
- контроль виконання мережного план-графіка проекту;
- контроль повноти різномірної інформації про виріб:
 - геометричні дані (модель з розмірами і допусками);
 - креслення;
 - характеристики матеріалів;
 - специфікації;
 - результати міцнісних розрахунків;
 - технологічні процеси виготовлення;
 - програми для верстатів з ЧПК;
 - вартість компонентів;
 - фотореалістичні зображення та ін.;
- автоматизоване створення звітів про проекти за цими даними;
- архівація.

Рівні архівації моделі виробу.

Електронна модель виробу, що складається з перерахованих даних, проходить у процесі створення три рівні архівації:

- 1) архів розробника;
- 2) архів групи розробників;
- 3) загальний архів готових проектів.

Переміщення інформації на вищий рівень відбувається в результаті «електронного підпису» особи, яка ухвалює рішення.

2.5. Функції, характеристики і приклади CAE/CAD/CAM – систем

Функції CAD-систем в машинобудуванні підрозділяють на функції двовимірного (2D) і тривимірного (3D) проектування. До функцій 2D відносяться креслення, оформлення конструкторської документації, до функцій 3D - отримання тривимірних моделей, метричні розрахунки, реалістична візуалізація, взаємне перетворення 2D і 3D моделей [2].

Основні **функції CAM-систем**: розробка технологічних процесів, синтез керуючих програм, для технологічного устаткування з числовим програмним керуванням (ЧПК), моделювання процесів обробки, зокрема побудова траєкторій відносного руху інструменту і заготовки в процесі обробки, генерація процесорів посту для конкретних типів устаткування з ЧПК (NC - Numerical Control), розрахунок норм часу обробки.

Функції CAE-систем досить різноманітні, оскільки пов'язані з проектними процедурами аналізу, моделювання, оптимізації проектних рішень. До складу машинобудівних CAE - систем перш за все включають програми для наступних процедур:

- моделювання полів фізичних величин, зокрема аналіз міцності, який найчастіше виконується відповідно до МКЕ;
- розрахунок станів і перехідних процесів на макрорівні;
- імітаційне моделювання складних виробничих систем на основі моделей масового обслуговування і мереж.

Приклади систем моделювання полів фізичних величин відповідно до МКЕ: Nastran, Ansys, Cosmos, Nisa, Moldflow.

Приклади систем моделювання динамічних, процесів на макрорівні: Adams і Dyna - в механічних системах, Spice - в електронних схемах, ПА9 - для багатоаспектного моделювання, тобто для моделювання систем, принципи дії яких засновані на взаємовпливі фізичних процесів різної природи.

Для зручності адаптації САПР до потреб конкретних використань, для її розвитку доцільно мати у складі САПР інструментальні засоби адаптації і розвитку. Ці засоби представлені тією або іншою CASE-технологією, включаючи мови розширення. У деяких САПР застосовують оригінальні інструментальні середовища.

Прикладами можуть служити об'єктно-орієнтоване інтерактивне середовище CAS CADE в системі EUCLID, яка містить бібліотеку компонентів, в САПР T-Kix CAD 3/J передбачена розробка доповнень в середовищах Visual O+ і Visual Basic.

Важливе значення для забезпечення відкритості САПР, її інтегрованості з іншими автоматизованими системами (АС) мають інтерфейси, що представляються реалізованими в системі форматами міжпрограмних обмінів. Очевидно, що в першу чергу необхідно забезпечити зв'язки між CAE, CAD і CAM-підсистемами.

2.6. Програмні мови

Мови - формати міжпрограмних обмінів - використовуються IGES, DXF.

Express (стандарт ISO 10303-11, входить у сукупність стандартів STEP), SAT (формат ядра ACIS) та ін.

Найбільш перспективними вважаються діалекти мови Express, що пояснюється загальним характером стандартів STEP, їх спрямованістю на різне застосування, а також на використання в сучасних розподілених проектних і виробничих системах. Дійсно, такі формати, як IGES або DXF описують тільки геометрію об'єктів, тоді як в обмінах між різними САПР і їх підсистемами фігурують дані про різні властивості й атрибути виробів [3].

Мова *Express* використовується в багатьох системах інтерфейсу між CAD/CAM-системами. Зокрема, в систему CAD+ STEP включено середовище SDAI (Standard Data Access Interface), в якому можливе подання даних про об'єкти з різних систем CAD і додатків (але описаних за правилами мови Express). CAD++ STEP забезпечує доступ до баз даних більшості відомих САПР з представленням даних у вигляді STEP-файлів.

Інтерфейс програміста дозволяє відкривати й закривати файли проектів у базах даних, проводити читання і запис. Як об'єкти можуть використовуватися крапки, криві, поверхні, текст, приклади проектних рішень, розміри, зв'язки, типові зображення, комплекси даних і т.п.

2.7. Поняття про CALS-технологію

CALS-технологія - це технологія комплексної комп'ютеризації сфер промислового виробництва, мета якої - уніфікація і стандартизація специфікацій промислової продукції на всіх етапах її життєвого циклу.

Основні специфікації представлені проектною, технологічною, виробничою, маркетинговою, експлуатаційною документацією. У CALS-системах передбачено зберігання, обробка і передача інформації в комп'ютерних середовищах, оперативний доступ до даних в потрібний час і в потрібному місці. Відповідні системи автоматизації назвали автоматизованими логістичними системами або **CALS (Computer Aided Logistic Systems)**.

Оскільки під логістикою звичайно розуміють дисципліну, присвячену питанням постачання і керування запасами, а функції CALS набагато ширше і пов'язані з усіма етапами життєвого циклу промислових виробів, застосовують і більш розповсюджену розшифровку аббревіатури CALS - *Continuous Acquisition and LifeCycle Support*.

Застосування CALS дозволяє суттєво скоротити обсяг проектних робіт, оскільки описи багатьох складових частин устаткування, машин і систем, що проектувалися

раніше, зберігаються в базах даних мережних серверів, доступних будь-якому користувачеві технології CALS. Суттєво полегшується вирішення проблем ремонтоздатності, інтеграції продукції різного роду

системи і середовища, адаптації до змінних умов експлуатації, спеціалізації проектних організацій і т.п.

Розвиток CALS-технології повинен привести до появи так званих віртуальних виробництв, при яких процес створення специфікацій з інформацією для програмно-керованого технологічного устаткування, достатній для виготовлення виробу, може бути розподілений в часі й просторі між багатьма організаційно автономними проектними студіями.

Серед безперечних досягнень CALS-технології слід назвати легкість розповсюдження передових проектних рішень, можливість багатократного відтворення частин проекту в нових розробках та ін.

Побудова відкритих розподілених автоматизованих систем для проектування і керування у промисловості складає основу сучасної CALS-технології. Головна проблема їх побудови - забезпечення одноманітного опису і інтерпретації даних, незалежно від місця і часу їх отримання в загальній системі, що має масштаби аж до глобальних. Структура проектної, технологічної і експлуатаційної документації, мови її подання повинні бути стандартизованими. Тоді стає реальною успішна робота над загальним проектом різних колективів, розділених в часі й просторі і використовуючих різні CAE/CAD/CAM-системи. Одна і та ж конструкторська документація може бути використана багато разів у різних проектах, а одна і та ж технологічна документація адаптована до різних виробничих умов, що дозволяє суттєво скоротити й здешевіти загальний цикл проектування і виробництва. Крім того, спрощується експлуатація систем.

Отже, інформаційна інтеграція є невід'ємною властивістю CALS-систем. Тому в основу CALS-технології покладено ряд стандартів, що забезпечують таку інтеграцію.

Важливі проблеми, що вимагають вирішення при створенні комплексних САПР, - керування складністю проектів і інтеграція програмного забезпечення (ПЗ). Ці проблеми включають питання декомпозиції проектів, розпаралелювання проектних робіт, цілісності даних, міжпрограмних інтерфейсів та ін.

2.8. Комплексні автоматизовані системи

Відомо, що часткова автоматизація часто не дає очікуваного підвищення ефективності функціонування підприємств. Тому переважним є впровадження інтегрованих САПР, що автоматизують всі основні етапи проектування виробів. Подальше підвищення ефективності виробництва і конкурентоспроможності продукції можливе за рахунок інтеграції систем проектування, керування і документообігу. Така інтеграція лежить в основі створення комплексних систем автоматизації, в яких крім функцій САПР реалізуються засоби для автоматизації функцій керування проектуванням, документообігу, планування виробництва, обліку і т.п.

В основу CALS-технології покладено ряд стандартів і перш за все це стандарти STEP, а також Parts Library, Mandate, SGML (Standard Generalized Markup Language), EDIFACT (Electronic Data Interchange For Administration, Commerce, Transport) та ін. Стандарт SGML встановлює способи уніфікованого оформлення документів певного призначення - звітів, каталогів, бюлетенів і т.п., а стандарт EDIFACT - способи обміну подібними документами.

Одна з найбільш відомих реалізацій CALS-технології розроблена фірмою Computervision. Це технологія названа EPD (*Electronic Product Definition*) і орієнтована на підтримку процесів проектування і експлуатації виробів машинобудування.

У CALS-системах на всіх етапах життєвого циклу виробів використовується документація, отримана на етапі проектування. Тому природно, що складі підсистем в CALS і комплексних САПР значною мірою співпадають.

Технологію EPD реалізують:

- CAD - система автоматизованого проектування;

- CA.V1 - автоматизована система технологічної підготовки виробництва (АСТПВ);
- CAE - система моделювання і розрахунків;
- CAPE (Concurrent Art-to-Product Enironoment) - система підтримки паралельного проектування (concurrent engineering);
- PDM - система керування проектними даними, що є спеціалізованою СКБД (DBMS - Data Base Management System);
- 3D Viewer - система тривимірної візуалізації;
- 3 ADD - система документування;
- CASE - система розробки і супроводу програмного забезпечення;
- методики обстеження і аналізу функціонування підприємств.

Основу EPD складають системи CAD і PDM, що використовуються CADD5 і Ortegra відповідно. Значною мірою специфіку EPD визначає система Ortegra. У ній відображається ієрархічна структура виробів, що включає всі складальні вузли і деталі. В Ortegra можна отримати інформацію про атрибути будь-якого елемента структури, а також відповіді на типових для баз даних питання типу «Вкажіть деталі з матеріалу або в яких блоках використовуються деталі заготівника» і т.п.

□□КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:

1. Що таке CAD/CAE/CAM системи? Як вони розшифровуються?
2. Дайте характеристику рівням CAD/CAE/CAM систем.
3. Дайте визначення поняттю CALS-технології.

5. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ САПР

Проектування - процес складання опису, необхідного для створення у заданих умовах ще не існуючого об'єкта, на основі первинного опису цього об'єкта і (або) алгоритму його функціонування.

Проектування включає комплекс робіт з вишукування, дослідження, розрахунків і конструювання, що мають на меті отримання опису предмета проектування, необхідного і достатнього для створення нового виробу або реалізації нового процесу, що задовольняє заданим вимогам. **Проектування - це складний специфічний вигляд творчої діяльності людини, заснований на глибоких наукових знаннях і творчому пошуку, використанні накопиченого досвіду і навиків у певній сфері, не позбавлений, проте, необхідності виконання трудомістких рутинних робіт.**

Суттєва перевага машинних методів проектування полягає в можливості проводити на ЕОМ експерименти на математичних моделях об'єктів проектування, відмовившись або значно скоротивши дороге фізичне моделювання. Математичні моделі при цьому повинні задовольняти вимогам універсальності, адекватності, точності й економічності [3].

Для створення САПР необхідно:

- вдосконалення проектування на основі застосування математичних методів і засобів обчислювальної техніки;
- автоматизація процесу пошуку, обробки й видачі інформації;
- використання методів оптимізації і багатоваріантного проектування;
- застосування ефективних математичних моделей проєктованих об'єктів, комплектуючих виробів і матеріалів;
- створення банків даних, що містять систематизовані відомості довідкового характеру, необхідні для автоматизованого проектування об'єктів;
- підвищення якості оформлення проектної документації;
- збільшення творчої частки праці проєктувальників за рахунок автоматизації нетворчих робіт;
- уніфікація і стандартизація методів проектування;
- підготовка і перепідготовка фахівців в області САПР;
- взаємодія проектних підрозділів з автоматизованими системами різного рівня і призначення.

САПР об'єднує технічні засоби, математичне і програмне забезпечення, параметри і характеристики яких вибирають з максимальним урахуванням особливостей завдань інженерного проектування і конструювання. У САПР забезпечується зручність використання програм за рахунок застосування засобів оперативного зв'язку інженера з ЕОМ, спеціальних проблемно-орієнтованих мов і інформаційно-довідкової бази.

Основна функція САПР - виконання автоматизованого проектування на всіх або окремих стадіях проектування об'єктів і їх складових частин.

При створенні САПР на різних стадіях, а також її підсистем і компонентів необхідно враховувати наступні положення і принципи:

Принцип системної єдності САПР полягає в тому, що при розробці, функціонуванні й розвитку САПР зв'язку між підсистемами повинні забезпечувати цілісність всієї системи. Найбільший ефект від САПР досягається при комплексній автоматизації проектування на всіх рівнях.

Останнє дозволяє виключити багатократний опис інформації про об'єкти проектування, забезпечивши її спадкоємність для різних підсистем.

Принцип сумісності компонентів САПР полягає в тому, що мови, символи, коди, інформаційні й технічні характеристики структурних зв'язків між підсистемами, засобами забезпечення САПР повинні забезпечувати сумісне функціонування підсистем. Особливо важливою є інформаційна і програмна узгодженість окремих підсистем. Так, інформаційна сумісність забезпечує роботу різних підсистем з однією і тією ж базою даних і єдиною вхідною мовою.

Принцип стандартизації САПР полягає у проведенні уніфікації, типізації і стандартизації підсистем і компонентів, інваріантних до проєктованих об'єктів, а також у

встановленні правил з метою впорядкування діяльності в області створення і розвитку САПР. Уніфікація програмного, лінгвістичного, технічного та інших видів забезпечення відкриває широку можливість впровадження САПР і її адаптації на різних підприємствах.

Принцип незалежності окремих підсистем (програм) САПР визначає можливість для підсистем (програм) введення в дію і функціонування їх незалежно від інших підсистем. Цей принцип називається також модульним принципом побудови САПР.

Принцип відвертості САПР визначає можливість внесення змін в систему під час її розробки і експлуатації. Розробка такого складного об'єкта, як САПР, займає тривалий час, тому економічно вигідно вводити в експлуатацію частини системи за станом їх готовності. Введений в експлуатацію базовий варіант системи надалі розширюється. Крім того, постійний прогрес обчислювальної техніки і обчислювальної математики приводить до появи нових, досконаліших математичних моделей і програм, які повинні замінювати старі, менш вдалі аналоги. Тому САПР повинна бути відкритою системою, тобто володіти властивістю зручності включення нових методів і засобів.

Принцип узгодженості автоматизованого (традиційного) проектування і САПР повинен враховуватися при впровадженні САПР на підприємстві, що вже діє, зі складеною структурою, взаємовідносинами, формами й способами використання проектної документації. При цьому впровадження САПР не повинне порушувати на тривалий час нормального функціонування підприємства.

Принцип ієрархічності реалізує комплексний підхід до автоматизації всіх рівнів проектування. Слід особливо підкреслити доцільність забезпечення комплексного характеру САПР, оскільки автоматизація проектування на одному з рівнів при збереженні старих форм проектування на сусідніх рівнях виявляється значно менш ефективною, ніж повна автоматизація всіх рівнів. Ієрархічна побудова відноситься не тільки до спеціального програмного забезпечення, але і до технічних засобів САПР, що розділяються на центральний обчислювальний комплекс і автоматизовані робочі місця проектувальників.

Принцип розвитку забезпечує поповнення, вдосконалення і оновлення складових частин САПР, а також взаємодію і розширення взаємозв'язку з автоматизованими системами різного рівня і функціонального призначення.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:

1. Які умови необхідно виконати для створення САПР?
2. Визначіть основну функцію САПР.
3. Перелічіть і дайте характеристику принципам побудови САПР.

6. СКЛАД І СТРУКТУРА САПР

Складовими структурними частинами САПР, жорстко пов'язаними з організаційною структурою проектної організації, є підсистеми, в яких за допомогою спеціалізованих комплексів засобів вирішується функціонально закінчена послідовність завдань САПР [3].

За призначенням підсистеми розділяють на два види: **проектуючі** і **обслуговуючі**.

До проектуючих відносяться підсистеми, що виконують проектні процедури і операції, наприклад підсистема оптимізації характеристик виробу; підсистема проектування вузлів деталей і складальних одиниць; підсистема технологічного проектування; підсистема проектування пристроїв. **Приклади проектуючих підсистем: ескізне проектування виробів, проектування корпусних деталей, проектування технологічних процесів механічної обробки.**

Обслуговуючими називають підсистеми, що мають загальносистемне застосування і функціонування проектуючих підсистем, що забезпечують підтримку, а також оформлення, передачу і виведення отриманих в них результатів, наприклад підсистема графічного відображення об'єктів проектування; підсистема документування; підсистема обслуговування бази даних.

По відношенню до об'єкта проектування розрізняють два види проектуючих підсистем: об'єктно-орієнтовані (об'єктні); незалежні (інваріантні).

До об'єктних відносять підсистеми, що виконують одну або декілька проектних процедур або операцій, безпосередньо залежних від конкретного об'єкта проектування.

Інваріантними називають підсистеми, що виконують уніфіковані проектні процедури і операції.

У вищенаведених визначеннях використані поняття «проектна процедура» і «операція», з яких формуються різні підсистеми і САПР в цілому.

Проектна процедура - це формалізована сукупність дій, виконання яких закінчується проектним рішенням.

Проектною операцією називають дію або формалізовану сукупність дій, складових частин проектної процедури, алгоритм яких залишається незмінним для ряду проектних процедур.

Уніфікована проектна процедура - процедура, алгоритм якої залишається незмінним для різних об'єктів проектування або різних стадій проектування одного і того ж об'єкта.

Системна єдність САПР забезпечується наявністю комплексу взаємозв'язаних моделей, що визначають об'єкт проектування в цілому, а також комплексом системних інтерфейсів, що здійснюють вказаний взаємозв'язок. Системна єдність усередині проектуючих підсистем забезпечується наявністю єдиної інформаційної моделі тієї частини об'єкта, проектного рішення за якою повинне бути отримане в даній підсистемі. Формування і використання моделей об'єкта проектування у прикладних завданнях здійснюється комплексами (КСАП) системи (або підсистеми) (рис. 6.1).

Рис. 6.1 - Структурна схема САПР

Структурними частинами КСАП системи є різні комплекси засобів, а також компоненти організаційного забезпечення. Комплекс засобів – це сукупність компонентів і/або комплексів засобів, призначених для тиражування і орієнтованих на проектування об'єктів певного класу (вигляду, типу) і/або виконання уніфікованих процедур, використовуваних у відповідних проектуючих і/або обслуговуючих підсистемах САПР.

Види комплексів засобів і компонентів САПР (рис. 6.2).

Комплекси засобів підрозділяють на комплекси засобів одного виду забезпечення (технічного, програмного, інформаційного та ін.) і комбіновані.

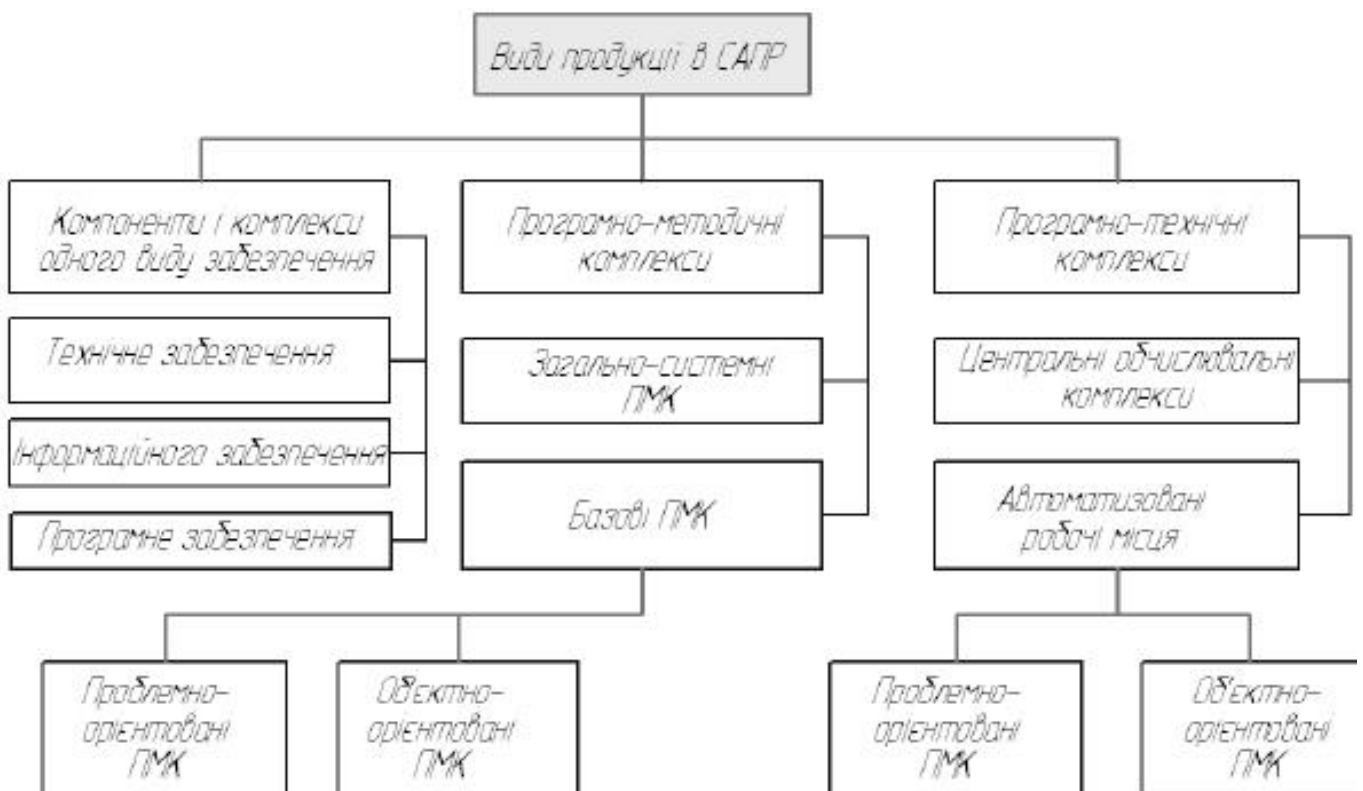


Рис. 6.2 - Види комплексів і компонентів САПР

Рис. 6.2 - Види комплексів і компонентів САПР

Комплекси засобів одного виду забезпечення містять комплекси і/або компоненти одного виду забезпечення; комплекси засобів комбіновані - сукупність комплексів і компонентів різних видів забезпечення. Комбіновані КСАП, що відносяться до продукції виробничо-технічного призначення, підрозділяються на програмно-методичні (ПМК) й програмно-технічні (ПТК).

Програмно-методичний комплекс є взаємозв'язаною сукупністю компонентів програмного, інформаційного і методичного забезпечення (включаючи компоненти математичного і лінгвістичного забезпечення), необхідною для отримання закінченого проектного рішення по об'єкту проектування (одній або декільком його частинам або об'єкту в цілому) або виконання уніфікованих процедур.

Залежно від призначення ПМК підрозділяють на загальносистемні, базові, зокрема проблемно-орієнтовані й об'єктно-орієнтовані.

Програмно-технічний комплекс є взаємозв'язаною сукупністю ПМК з комплексами і (або) компонентами технічного забезпечення.

Залежно від призначення ПТК розрізняють автоматизовані робочі місця (АРМ); центральні обчислювальні комплекси (ЦБК).

Комплекси засобів можуть об'єднувати свої обчислювальні й інформаційні ресурси, утворюючи локальні обчислювальні мережі підсистем або систем в цілому.

Структурними частинами комплексів засобів є компоненти наступних видів забезпечення: програмного, інформаційного, методичного, математичного, лінгвістичного і технічного.

Компоненти видів забезпечення виконують задану функцію і представляють найменший (неподільний) самостійно розроблюваний елемент САПР (наприклад, програма, інструкція, дисплей і т.п.). Ефективне функціонування КСАП і взаємодія структурних частин САПР всіх рівнів повинні досягатися за рахунок орієнтації на стандартні інтерфейси і протоколи зв'язків, що забезпечують взаємодію комплексів засобів.

Ефективне функціонування КСАП повинне досягатися за рахунок взаємоузгодженої розробки компонентів, які входять до складу комплексів засобів.

КСАП обслуговуючих підсистем, а також окремі ПТК цих підсистем можуть використовуватися при функціонуванні всіх підсистем.

Загальносистемні ПМК включають програмне, інформаційне, методичне та інші види забезпечення. Вони призначені для виконання уніфікованих процедур з керування, контролю, планування обчислювального процесу, розподілу ресурсів САПР і реалізації інших функцій, що є загальними для підсистем або САПР в цілому.

Приклади загальносистемних ПМК: моніторні системи, системи керування БД, інформаційно-пошукові системи засобів машинної графіки, підсистема забезпечення діалогового режиму та ін.

Моніторні системи керування функціонуванням технічних засобів у САПР. Основними функціями моніторних систем є: формування завдань з контролем пакету завдань, необхідних і наявних ресурсів, права доступу до бази даних зі встановленням пріоритету і номера черги; обробка директив мов керування завданнями, а також реакція на переривання з перехопленням управління, аналізом причин і їх інтерпретацією в термінах, зрозумілих проектувальнику; обслуговування потоків завдань з організацією діалогового і інтерактивно-графічного супроводу в умовах паралельної роботи підсистем;

керування проектуванням в автоматичних режимах з аналізом якості виконання проектних операцій, перевіркою критеріїв повторення етапу або продовження маршруту, вибором альтернативних варіантів маршруту;

ведення і оптимізація статистики експлуатації системи; розподіл ресурсів САПР з урахуванням пріоритетів завдань, завдань і підсистем, планових завдань і поточних вказівок і запитів; захист ресурсів і даних від несанкціонованого доступу і непередбачених дій.

Інформаційно-пошукові системи (ІПС) в САПР виконують функції:

заповнення інформаційного фонду (інфотеки) відомостями; арифметичну обробку цифрових даних і лексичну обробку текстів; обробку інформаційних запитів з метою пошуку необхідних відомостей; обробку вихідних даних і формування вихідних документів. Особливості ІПС полягають в тому, що запити до них формуються не програмним шляхом, а безпосередньо користувачами, і не на формальній мові, зрозумілій монітору, а на природній мові у вигляді послідовності ключових слів - дескрипторів. Перелік дескрипторів, що містяться у всіх прийнятих на зберігання описах, складає словник дескрипторів, або тезаурус, призначений для формування пошукових розпоряджень.

Існують ще складніші ІПС в порівнянні з дескрипторними. Важливу роль в них грає інформаційно-пошукова мова, в якій враховуються семантичні взаємини між інформаційними об'єктами. Це дозволяє зменшити число неправильно розпізнаваних мовних конструкцій, а обробку запитів проводити на основі різних критеріїв смислової відповідності.

Банки даних (БНД) є найбільш високою формою організації інформації у великих САПР. Вони є проблемно-орієнтованими інформаційно-довідковими системами, що забезпечують введення необхідної інформації, незалежні від конкретних завдань ведення і збереження інформаційних масивів і видачі необхідної інформації за запитами користувачів або програм. У банках даних використовується інформація фактографічного вигляду.

Система керування базами даних (СКБД) - програмно-методичний комплекс для забезпечення роботи з інформаційною базою, організованою у вигляді структури даних.

СКБД виконує наступні основні функції: визначення баз даних, тобто опис концептуального, зовнішнього і внутрішнього рівнів схем; запис даних в базу; організація зберігання, із зміною, доповненням, реорганізацією даних; надання доступу до даних (пошук і їх видача).

Для визначення даних і доступу до них в СКБД є мовні засоби. Так, визначення даних, що полягає в описі їх структур, забезпечується за допомогою мови визначення даних. Функції доступу до даних реалізуються за допомогою мови маніпулювання даними і мови запитів. За типом підтримуваних структур розрізняють такі види СКБД: ієрархічні, мережні, реляційні.

Програмно-методичні комплекси машинної графіки забезпечують взаємодію користувача з ЕОМ при обміні графічною інформацією, вирішення геометричних завдань, формування зображень і автоматичне виготовлення графічної інформації. Графічна взаємодія користувача з ЕОМ (так званий графічний метод доступу) базується на підпрограмах введення-виводу, які забезпечують прийом і обробку команд від пристрою введення-виводу і видачу керуючих дій на ці пристрої. Вирішення геометричних завдань (геометричне моделювання) зводиться до перетворення графічної інформації, яке є виконанням в тій або іншій послідовності елементарних графічних операцій типу зрушення, поворот, масштабування і т.п. Для геометричного моделювання використовується ПМК, в якому окрім окремих елементарних графічних операцій можуть бути реалізовані графічні перетворення тривимірних зображень, процедури побудови проєкцій, перетинів і т.п. У ПМК графічних перетворень звичайно передбачаються засоби для формування деяких часто використовуваних зображень,

керування графічною базою даних, відладки графічних підпрограм.

Діалоговий режим забезпечується програмно-методичними комплексами, які здійснюють введення, контроль, редагування, перетворення і виведення графічної і/або символічної інформації. Діалогове віддалене введення завдань забезпечує введення і редагування завдань через канали зв'язку, виконання завдань в пакетному режимі і виведення результатів через лінії зв'язку на віддалені термінали. У САПР можуть використовуватися як діалогові ПМК загального призначення, так і спеціалізовані. ПМК загального призначення доцільно застосовувати на початкових стадіях створення і експлуатації САПР для відробітку і перевірки методології проектування, технології обробки даних і прикладних програм. Надалі можлива модифікація ПМК з урахуванням специфічних вимог по організації діалогу в САПР. При цьому необхідно враховувати наявність діалогового або пакетного режиму обробки запитів; орієнтацію системи на

користувача -непрограміста; можливість розширення системи шляхом включення діалогових прикладних програм на мовах високого рівня; можливість керування діалогом за допомогою «меню» і директив, бажаність спілкування на рідній мові і т.п.

Базові ПМК підрозділяють на проблемно-орієнтовані ПМК й об'єктно-орієнтовані ПМК.

Проблемно-орієнтовані ПМК можуть включати: програмні засоби, призначені для автоматизованого впорядкування початкових даних, вимог і обмежень до об'єкта проектування в цілому або до складальних одиниць; вибір фізичного принципу дії об'єкта проектування; вибір технічних рішень і структури об'єкта проектування; оцінку показників якості (технологічності) конструкцій, проектування маршруту обробки деталей.

Об'єктно-орієнтовані ПМК відображують особливості об'єктів проектування як сукупність наочної області. До таких ПМК, наприклад, відносять ПМК, що підтримують автоматизоване проектування складальних одиниць; проектування деталей на основі стандартних або запозичених рішень; деталей на основі синтезу їх з елементів форми; технологічних процесів за видами обробки деталей і т.п.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:

1. Назвіть структурну схему САПР.
2. Які види комплексів і компонентів Ви знаєте?
3. Дайте характеристику структурним частинам комплексів САПР.

Тема 3. Способи представлення графічної інформації в ЕОМ

3.1. Машинна графіка

Засоби і методи створення та перетворення графічних зображень об'єктів за допомогою ЕОМ називається машинною графікою. Машинна графіка використовується для введення інформації, яка має графічну форму в ЕОМ і виведення інформації в графічній формі з ЕОМ. При цьому під графічною формою представлення інформації розуміють креслення і ескізи деталей та складених одиниць, різноманітні схеми, діаграми, графіки, гістограми і т.п. Якщо введення і виведення графічної інформації відбувається в процесі діалогу людини з ЕОМ машинну графіку називають інтерактивною.

До основних технічних засобів машинної графіки відносяться графічні дисплеї разом з пристроями управління маркером, графічні пристрої, координатографи, кодувальники графічної інформації.

Математичне забезпечення машинної графіки включає геометричні моделі, методи і алгоритми їх перетворення. Геометричні моделі можна представити у вигляді складених з окремих елементарних частин - графічних примітивів (суцільні і пунктирні відрізки прямих ліній, дуги кола і еліпса, прямокутники, багатокутники), а алгоритми перетворення геометричних моделей - елементарними операціями (масштабування зображення - стиснення або розширення, поворот, зрушення, мультиплікація, дзеркальне відображення, виділення вікна).

Разом з автоматичним введенням інформації безпосередньо з графічних документів застосовують також попереднє кодування - представлення інформації на графічних вхідних мовах. Програмне забезпечення машинної графіки представлене в САПР: 1) мовними процесорами, що перетворюють інформацію введеної з кодувальника або представлену на вхідній графічній мові; 2) програмами, що перетворюють результати виконання проектних процедур прикладними програмами в команди управління пристроями виводу.

Елементарною одиницею машинної графіки є графічний об'єкт, що представляється системою рівнянь, які описують геометричні характеристики об'єкту проектування у тривимірному просторі.

На пристроях відображення графічний об'єкт зображується у вигляді проекцій (ортогональних, аксонометричних, перспективних і і н.), розрізів і перетинів.

Існують три види моделей об'єктів машинної графіки - стрижнева, оболонкова і об'ємна.

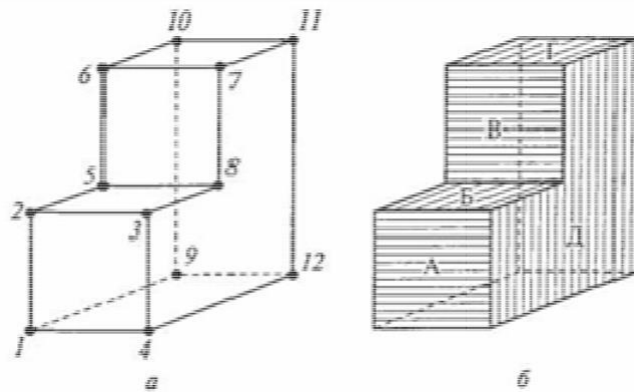


Рис. 3.1. Моделі представлення об'єктів машинної графіки:

а – стрижнева; б – оболонкова

Стрижнева модель (рис. 3.1, а) заснована на представленні об'єкту у вигляді прямолінійних стрижнів, що є ребрами моделі, які сполучені між собою у вузлах - вершинах (1, 2, 3 ...). Основними рівняннями, які застосовуються для опису моделі є рівняння прямої лінії в тривимірному просторі. Ребра є межами граней об'єкту.

Оболонкова модель (рис. 3.1, б) заснована на проектуванні зовнішнього вигляду геометричного об'єкту у вигляді сукупностей поверхонь, що є гранями моделі (А, Б, В...). Лінії перетинання поверхонь утворюють ребра моделі. Така модель описується системою рівнянь поверхонь і може бути використана для моделювання зовнішнього вигляду об'єктів будь-якої форми.

Найбільш сучасною моделлю, що широко застосовується у САПР, є *об'ємна (твердотільна) модель*. Загальноприйнятим порядком моделювання твердого тіла є послідовне виконання булевих операцій (об'єднання, віднімання і перетин) над об'ємними елементами (сфери, призми, циліндри, конуси, піраміди і т.д.). Ці елементи описуються тими ж рівняннями, що і поверхні оболонкової моделі, проте об'ємні елементи вважаються заповненими. Приклад виконання операцій з об'ємними елементами показаний на рис. 3.2.

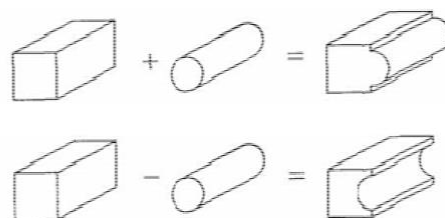


Рис. 3.2. Операції з об'ємними елементами

Така модель вимагає складнішого програмного забезпечення, але при використанні програмних засобів на сучасних ЕОМ може бути забезпечена достатня для діалогового режиму швидкість графічних перетворень. Ця модель не має обмежень в можливостях побудови і відображення будь-яких проекцій, розрізів і перетинів.

3.2. Представлення графічної інформації в ЕОМ

Графічна інформація може бути представлена різним и способами, це залежить від призначення цієї інформації і типу пристроїв для яких вона призначена.

Координатний спосіб представлення графічної інформації заснований на представленні плоского (монохромного) зображення у вигляді координат прямокутних растр елементів. При цьому фіксуються тільки растрелементи, що належать зображенню, а фонові області не розглядаються. На рис. 3.3, а показано розбиття зображення на растр-елементи, що являють собою квадрат із стороною 0,01 мм. Дані про координати растр-елементів заносяться в таблицю, приклад якої приведе ний на рис. 3.3, б. Як видно з рисунка для достатньо точного представлення графічної інформації потрібний великий масив даних, що включає порядкові номери і координати растрелементів, унаслідок чого цей спосіб незручний для зберігання графічної інформації. Область його застосування - скануючі і растрові пристрої вводу-виводу графічної інформації. Розмір растрелемента визначається технічними характеристиками вказаних пристроїв.

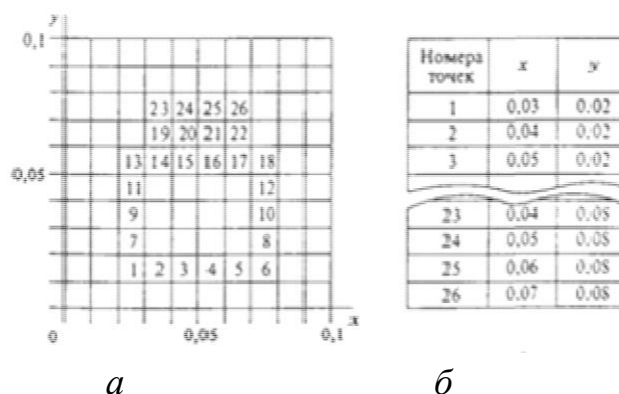


Рис. 3.3. Координатний спосіб представлення інформації:

- розбиття зображення на растрелементи;
- таблиця з координатами растрелементів

Різновидом координатного способу є реце пторний спосіб представлення графічної інформації. Він заснова ний на пре дставленні всього поля зображення (зокрема фонові області) у вигляді прямокутних областей, які називаються рецепторами (рис. 3.4, а). При цьому рецептор, що належить лініям зображення, кодується двійковою одинице ю і називається «збудженим», а рецептор, що належить фоновій області зображення, кодується двійковим нулем і носить назву «білого» (рис. 3.4, б). При цьому, кодування кожного окремого рецептора компактніше, ніж растрелемента у координатному способі. Проте необхідність кодування фонові області, що займає на кресленнях значний простір, призводить до того, що цей спосіб не дозволяє одержати компактний запис інформації. Область

застосування даного способу представлення графічної інформації той самий, що і у координатного способу.

Економічнішим з погляду об'єму збереженої інформації є спосіб по елементного представлення графічної інформації. Він заснований на представленні зображення у вигляді сукупності графічних примітивів, якими можуть бути відрізок прямої лінії, дуга, коло.

Для уявлення будь-якого з цих елементів досить записати код цього елементу, координати його опорних точок і (або) орієнтацію в просторі. Цей спосіб дозволяє представити графічну інформацію значно компактніше ніж розглянути вище.

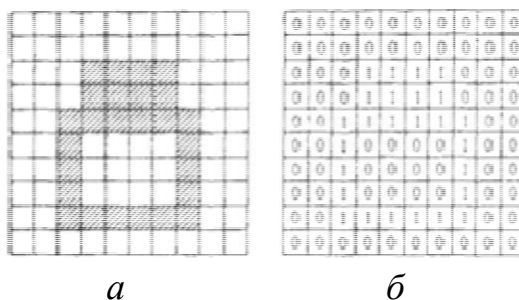


Рис. 3.4. Рецептний спосіб представлення графічної інформації: а) у вигляді прямокутних областей (рецепторів); б) у двійковому коді

Область його застосування - пристрої кодування графічної інформації (диджитайзери). Він також застосовується для представлення у компактнішому вигляді графічної інформації одержаною розглянутими вище способами. Для цього використовуються програми векторизації растрових зображень що дозволяють визначати впорядковану сукупність рецепторів і растрелементів, а потім представляти їх у вигляді графічних примітивів (відрізків прямої).

Подальшим розвитком способу по елементного представлення графічної інформації є *структурно-символьний спосіб*. Він заснований на використанні для формування зображення типових графічних елементів (ТГЕ). Як ТГЕ можуть застосовуватися складні графічні зображення, що складаються з графічних примітивів. Для опису кожного елементу досить вказати його тип, координати опорної точки і орієнтацію в просторі, а також модуль його розміру. Цей спосіб привабливий тим, що елементи графічних зображень, які часто зустрічаються в даній області застосування, можуть бути систематизовані і занесені в бібліотеку. Спосіб є компактнішим при зберіганні графічного зображення і зручний при формуванні зображень.

Аналітичний спосіб представлення графічної інформації заснований на її уявленні у вигляді рівнянь поверхонь. При цьому передбачається, що будь-яке зображення можна представити сукупністю рівнянь, що відповідають сукупності поверхонь, які перетинаються з площиною зображення. Такий спосіб є математичною основою сучасного програмного забезпечення машинної графіки.

Тема 4. Підходи і методи проектування. Задачі синтезу і аналізу у САПР

4.1. Підходи і методи проектування у САПР

У сучасних САПР використовують різні підходи і методи проектування. На практиці, особливо при проектуванні об'єктів машинобудування, рідко зустрічаються випадки, коли існує можливість повного опису об'єкту в рамках однієї програми, це обумовлено великою складністю завдання на проектування.

Описи технічних об'єктів за складністю повинні бути узгоджені з можливостями сприйняття людиною і оперуванням описами в процесі їх перетворення за допомогою наявних засобів проектування. Проте виконати цю вимогу в рамках деякого єдиного опису, не розбиваючи його на складові частини, вдається лише для простих виробів. Як правило, потрібна структуризація описів з відповідним роздільним представленням проектованих об'єктів використовуючи ієрархічні рівні і аспекти, це дозволяє розподіляти роботи по проектуванню складних об'єктів між підрозділами проектної організації, що сприяє підвищенню ефективності і продуктивності праці проектувальників.

Блочно-ієрархічний підхід. Розділення описів по ступеню деталізації відображених у ньому властивостей і характеристик об'єкту лежить в основі *блочно-ієрархічного підходу до проектування*, що призводить до появи *ієрархічних рівнів (рівнів абстрагування)* в уявленнях про об'єкт.

На кожному ієрархічному рівні використовуються свої поняття систем і елементів. На верхньому рівні проектований складний об'єкт розглядається як система взаємозв'язаних і взаємодіючих елементів. Кожний з цих елементів є також складним об'єктом який, у свою чергу, розглядається як система на наступному нижчому рівні. Виділення елементів відбувається за функціональною ознакою. Подібне розділення продовжується аж до отримання на деякому рівні елементів, описи яких подальшому поділенню не підлягають, ці елементи по відношенню до об'єкту називають *базовими елементами*

Таким чином, *принцип ієрархічності* означає структуризацію уявлень про об'єкти проектування по ступеню детальності опису, а *принцип декомпозиції (блоковості)* - розбиття представлень кожного рівня на ряд складових частин (блоків) з можливостями роздільного (поблочного) проектування об'єктів на кожному з рівнів.

Конструкції машин як об'єктів проектування є складною системою. Внаслідок цього, математичний опис конструктивних елементів повинен базуватися на *блочно-ієрархічному підході до процесу конструювання*.

Для промислових об'єктів (машинобудування, приладобудування, легкої промисловості та інших галузей) характерні наступні ієрархічні рівні, машина-агрегат-вузел-деталь. Рівень IV (нижчий рівень) складають деталі машин, рівень III - сукупність деталей (вузол - збірна одиниця), рівень II - агрегат (сукупність вузлів),

рівень I - машина (сукупність агрегатів). Для точнішого представлення ієрархії системи машин можуть бути передбачені додаткові підрівні, наприклад вузли машини можуть бути розбиті на підвузли і т.д.

Розглянемо ієрархічне представлення технічного засобу автоматизації (рис. 4.1). Рівень I представлений самим технічним засобом, рівень II - його агрегатами і системами. Елементами рівня III є вузли агрегатів і систем. На рівні IV розташовуються вузлові деталі. Можливо приєднання підрівнів, наприклад між рівнями I і II можна розташувати більш прості агрегати.

Відповідно ієрархії об'єктів проектування можна побудувати ієрархію їх математичних моделей.

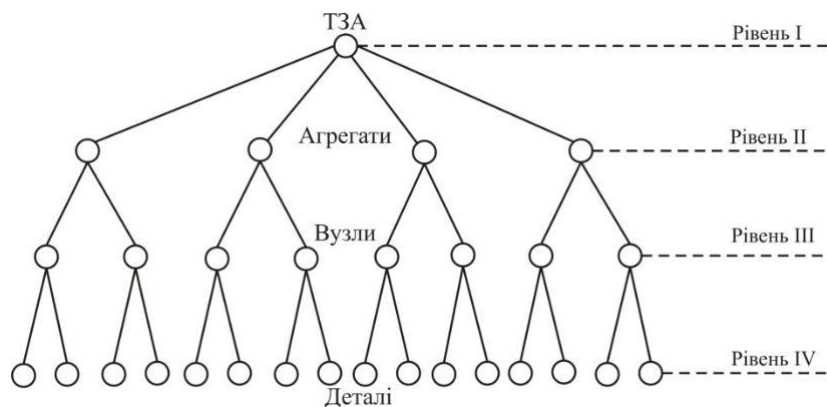


Рис. 4.1. Приклад ієрархічного представлення

Отже, блоково-ієрархічний підхід до проектування – це підхід, заснований на розділенні описів проєктованих об'єктів на *ієрархічні рівні* за ступенем детальності віддзеркалення властивостей об'єктів, а також на відповідному розділенні процесу проектування на групи *проектних процедур*, пов'язаних з отриманням і перетворенням описів виділених ієрархічних рівнів.

Ієрархічна структура описів має місце в кожному з *аспектів описів* складних систем. Наприклад, описи функціонального аспекту діляться на *мета-, макро- і мікрорівні*. У описах конструкцій виділяють рівні комплектів устаткування, агрегатів, складальних одиниць, деталей; у описах технологічних процесів - рівні принципів схем, маршрутної і операційної технологій. При переході з вищого ієрархічного рівня на нижчий ступінь детальності опису об'єкту зростає. Для збереження прийнятної складності описів (прийнятної розмірності вирішуваних задач) при такому переході необхідно проводити *декомпозицію* описів на блоки з подальшим поблочним розглядом і перетворенням описів. В результаті з'являється можливість звести вирішення невеликої кількості надмірно складних завдань до вирішення великої кількості завдань прийнятної складності.

Якщо вирішення задач вищих ієрархічних рівнів передуює рішенням задач нижчих ієрархічних рівнів, проектування називають *низхідним*, але коли спочатку здійснюються етапи, що пов'язані з нижчими ієрархічними рівнями, то проектування називають *висхідним*. У кожного з цих двох видів проектування є переваги і недоліки.

Низхідне проектування. При такому проектуванні спочатку створюються описи на вищих ієрархічних рівнях, а потім на нижчих (проектування зверху вниз).

Наприклад, послідовність проектування може бути такою: структурна схема технічного засобу автоматизації - моделі агрегатів і систем - розрахункові схеми вузлів і деталей. *Функціональне проектування* складних систем найчастіше буває низхідним аж до рівня, на якому елементи - уніфіковані об'єкти.

При низхідному проектуванні система розробляється в умовах, коли її елементи ще не визначені, а відомості про їх можливості і властивості носять попередній характер.

Висхідне проектування. Проектування, при якому виконання процедур по отриманню описів низьких ієрархічних рівнів передують виконанню процедур по отриманню описів високих ієрархічних рівнів, *називається висхідним* (проектування від низу до верху). Наприклад, об'єкти можуть проектуватися в такій послідовності: деталі - збірні одиниці - агрегати. При висхідному проектуванні елементи проектуються раніше системи, тому попередній характер мають властивості і вимоги до елементів.

Оскільки припущення можуть не підтвердитись, часто потрібне повторне виконання проектних процедур попередніх етапів після виконання проектних процедур подальших етапів. Такі повторення забезпечують послідовне наближення до оптимальних результатів і обумовлюють ітераційний характер проектування. Отже, ітераційність відносять до важливих принципів проектування складних об'єктів.

На практиці зазвичай поєднують висхідне і низхідне проектування. Наприклад, висхідне проектування має місце на всіх ієрархічних рівнях, на яких використовуються уніфіковані елементи. Очевидно, що такі елементи орієнтовані на застосування в різних системах певного класу, що розробляються раніше ніж будь-яка конкретна система з цього класу. При розробці нових конструкцій зазвичай використовується евристичний прийом синтезу.

Евристичний прийом синтезу. Неформалізований прийом, який використовується при синтезі технічних об'єктів, що дає змогу визначити у якому напрямі шукати потрібне технічне рішення називається евристичним.

Евристичні прийоми зберігаються у спеціальних фондах *баз даних*, для подальшого використання інженерами в інтерактивних процедурах синтезу. Евристичні прийоми діляться на групи перетворень виду руху, матеріалу, геометричної форми в просторі, в часі, додаванням, виключенням, заміною, аналогічно і т.п. Прикладами евристичних прийомів можуть служити такі: «змінити напрям обертання», «перейти від однорідних матеріалів до композиційних», «вивернути форму навиворіт», «поміняти місцями протилежно розміщені елементи», «перетворити асинхронний процес на синхронний», «витрачені елементи відновити безпосередньо в процесі роботи», «виключити найбільш напружений елемент», «замінити механічну обробку обробкою без зняття стружки», «звернути увагу на спосіб рішення оберненої задачі» та ін.

4.2. Завдання синтезу і аналізу. Оптимальне проектування конструкцій

Проектування - складний і важко формалізований процес, який об'єднує такі важливі процедури, як синтез структури, вибір параметрів елементів, аналіз і ухвалення рішень. Особливо важлива початкова стадія проектування, коли вибираються ефективний фізичний принцип дії, раціональне технічне рішення і визначаються оптимальні значення параметрів.

Завдання синтезу і аналізу. Під *синтезом* розуміються проектні процедури, направлені на отримання нових описів спроектованого об'єкту відповідно до заданих показників його функціонування. *Аналіз* - це проектні процедури, що мають на меті отримання інформації про властивості спроектованого об'єкту по заданому опису.

Завдання синтезу пов'язані із створенням проектних документів і самого проекту, а завдання аналізу пов'язані з оцінкою проектних документів.

Процедури синтезу діляться на процедури структурного і параметричного синтезу.

Пошук раціонального технічного рішення при вибраному фізичному принципі дії здійснюється методами *структурного синтезу*. Визначення оптимальних значень параметрів елементів технічної системи відомої структури є завданням *параметричного синтезу*, або *параметричної оптимізації*.

Метою структурного синтезу є визначення структури об'єкту - переліку типів елементів, які складають об'єкт і способу зв'язку елементів між собою у складі об'єкту.

Параметричний синтез полягає у визначенні числових значень параметрів елементів при заданій структурі і умовах працездатності, що впливають на вихідні параметри об'єкту, тобто при параметричному синтезі потрібно знайти точку або область в просторі внутрішніх параметрів у яких будуть виконуватися певні умови (зазвичай умови працездатності).

Класифікація проектних процедур приведена на рис. 4.2.

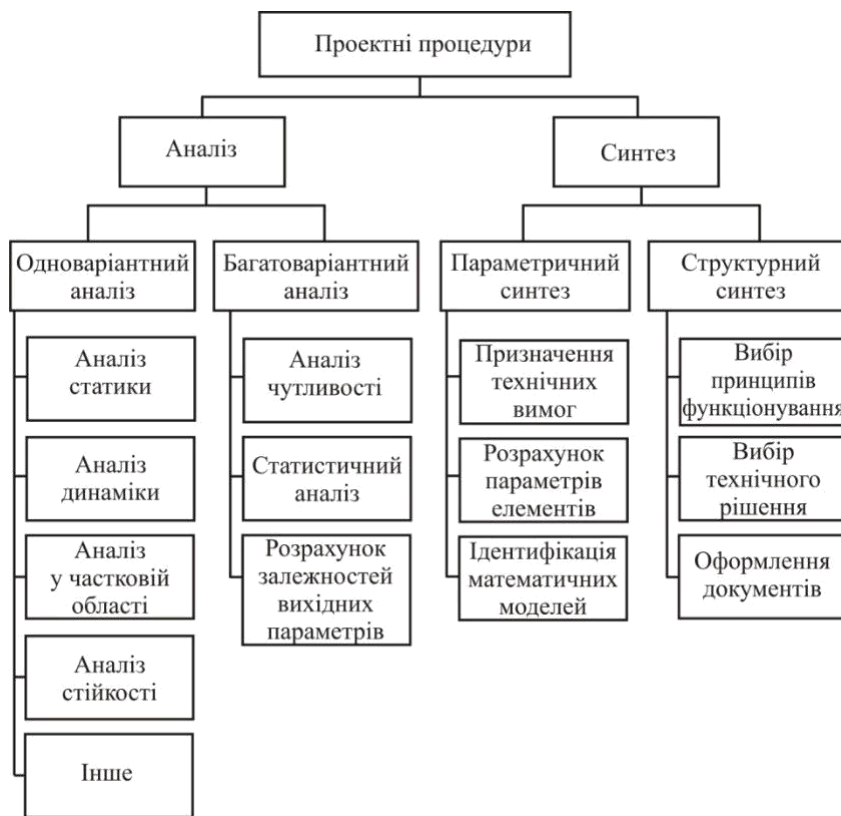


Рис. 4.2. Класифікація проектних процедур

Процедури аналізу діляться на процедури одно- і багатоваріантного аналізу. При *одноваріантному аналізі* задані значення внутрішніх і зовнішніх параметрів, потрібно визначити значення вихідних параметрів об'єкту. Зручно використовувати геометричну інтерпретацію цього завдання пов'язану з поняттям простору внутрішніх параметрів; це i -мірний простір, в якому для кожного з n внутрішніх параметрів виділена координатна вісь. При одноваріантному аналізі задається також деяка точка у просторі внутрішніх параметрів в якій потрібно визначити значення вихідних параметрів. Подібне завдання зазвичай зводиться до одноразового вирішення рівнянь, які є складовими математичної моделі, що обумовлює назву даного виду аналізу.

Багатоваріантний аналіз полягає у дослідженні властивостей об'єкту в деякій області простору внутрішніх параметрів. Такий аналіз вимагає багатократного рішення систем рівнянь (багатократного виконання одноваріантного аналізу).

Синтез називається *оптимізацією*, якщо визначаються найкращі структура і значення параметрів. При розрахунках оптимальних значень параметрів із заданою структурою говорять про параметричну оптимізацію. Завдання вибору оптимальної структури називають *структурною оптимізацією*.

Постановка завдання оптимізації має змістовний сенс тільки у тому випадку, коли з'являється необхідність вибору одного з конкуруючих варіантів, одержаних при обмеженості ресурсів. Технічне проектування завжди ведеться в умовах жорстких обмежень на матеріальні, енергетичні, часові та інші види ресурсів. Разом з тим засоби САПР дозволяють виконати розробку декількох альтернативних варіантів, тому остаточний вибір технічного об'єкту (ухвалення рішення) необхідно

проводити з урахуванням вироблених *правил переваг* на підставі встановлених критеріїв. Вибір критерію є одним з важливих етапів постановки завдання оптимізації, оскільки всі подальші дії направлені на пошук об'єкту, який буде найбільш близьким до оптимального за вибраним критерієм.

У основі побудови правил переваг лежить *цільова функція*, що кількісно виражає якість об'єкту і тому також називається *функцією якості*, або *критерієм оптимальності*. Формування цільової функції завжди виконується з урахуванням різних вихідних параметрів проектного пристрою. Залежно від змістовного сенсу цих параметрів і вибраного способу їх поєднання в цільовій функції якість об'єкту буде тим вище, чим більше її значення (максимізація) або чим менше її значення (мінімізація).

Вибір цільової функції носить суб'єктивний характер і тому об'єкт може бути оптимальний тільки в сенсі даного критерію. У більшості підходів до оцінки технічного об'єкту прийнято орієнтуватися на еталонні зразки, на думку провідних фахівців галузі (експертні оцінки) або на техніко-економічні показники, які визначаються технічним завданням (ТЗ) на проектування. При підготовці ТЗ зазвичай враховуються досягнення, одержані в світовій практиці, а також в тій чи іншій мірі експертні оцінки, тому об'єктивнішою варто рахувати орієнтацію на ТЗ. Якнайповніша оцінка проектних рішень може бути виконана на основі аналізу техніко-економічних показників з урахуванням вимог сформульованих в ТЗ.

Сучасні проектувальні системи

Можна виділити декілька основних напрямів розвитку сучасних проектувальних систем:

- графічні системи (типу AutoCAD), що мають потужний апарат для створення на екрані комп'ютера графічного зображення об'єкта і здатні видавати проектні документи, що відповідають лише екранному зображенню;
- графічні системи (типу ArchiCAD, InteAr, Allplan, Architectural Desktop), що мають потужний апарат графічного діалога, який дозволяє створювати за екраном графічну модель об'єкта, що відображає його геометричні та видові властивості, і видають графічну інформацію про об'єкт на основі обробки цієї моделі;
- проблемно-орієнтовані проектувальні системи (типу SCAD, ЛІРА, NISA, ANSYS, COSMOS), що мають дружній вузькопрофесійний інтерфейс, добре структуровану цифрову модель об'єкта, ряд чисто проектних процедур, проте вирішують обмежений клас проблемних задач і вимагають від користувача глибоких професійних знань у предметній області;
- проектувальні системи, орієнтовані на максимальне використання можливостей системи «спеціаліст-комп'ютер», що включає розвиток моделі об'єкта, дружній інтерфейс, спеціалізовану експертну систему, базу знань і відповідають вимогам сучасних інформаційних технологій (типу MOHOMAX);
- інтегровані системи, що базуються на цифровій моделі об'єкта (ЦМО). У ЦМО об'єкт представляється як набір елементів (ригель, колона, опалювальний прилад, кондиціонер, елемент освітлення і т.п.), кожний з яких має набір реквізитів – геометричних і змістових.

