

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

О. М. Артюх, О. В. Дударенко
В. В. Кузьмін, А. Ю. Сосик
А. В. Щербина

ОСНОВИ САПР
В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

Навчальний посібник

УДК 004.896:629.33(075.8)

О-75

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Національний університет «Запорізька політехніка»
(Протокол № 3 від 6.12.2021 р.)*

Рецензенти:

Сахно В. П. – д.т.н., професор, академік Транспортної академії України, Заслужений працівник освіти України, завідувач кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету (м. Київ).

Панченко А. І. – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Мехатронні системи та транспортні технології» Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Воронін С. В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Машинобудування та технічний сервіс машин» Українського державного університету залізничного транспорту.

О-75 Основи САПР в автомобілебудуванні : навч. посіб. /
О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін.
Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 168 с.
ISBN 978-617-529-339-3

Навчальний посібник призначений для набуття студентом теоретичних знань з основ організації, створення й функціонування сучасних систем автоматизованого проектування (САПР) технологічного призначення, а також навчання студента практичній роботі із сучасними САПР. Посібник призначений для студентів які навчаються за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

УДК 004.896:629.33(075.8)

ISBN 978-617-529-339-3

**© Національний університет
«Запорізька політехніка», 2021
© Артюх О. М., Дударенко О. В.,
Кузьмін В. В., Сосик А. Ю.,
Щербина А. В., 2021**

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Вступ до курсу «Основи САПР в автомобілебудуванні».....	8
1.1 Значення і мета автоматизованого проектування.....	8
1.2 Основні відомості про автоматизоване проектування ..	11
1.3 Структура САПР	12
1.4 Основні принципи створення САПР.....	13
1.5 Спеціалізовані САПР.....	13
1.6 Види САПР	14
1.7 Типи САПР	18
1.8 Вимоги до САПР	22
1.9 Системи САПР використовувані в автомобілебудуванні.....	23
2 Принципи автоматизованого проектування	25
2.1 Принципи і мета створення САПР	25
2.2 Процес і завдання проектування.....	28
2.3 Аспекти описів проєктованих об'єктів	29
2.4 Етапи і режими проектування у САПР	30
2.5 Інтелектуальні системи автоматизованого проектування.....	32
2.6 Штучний інтелект	33
2.7 Принцип створення інтелектуальної САПР	34
3 CALS-технології – поняття про життєвий цикл виробу	37
3.1 Виникнення концепції CALS та її еволюція.....	37
3.2 Стандарти CALS-технологій.....	38
3.3 Структура Інтегрованого Інформаційного Середовища (ІІС).....	39
3.4 Концепція впровадження CALS-технологій	40
3.5 Основа CALS-технологій	43
3.6 Класифікація й структура АІС.....	44
3.7 Життєвий цикл промислових виробів.....	47
4 Математичне забезпечення САПР.....	52
4.1 Математичні моделі.....	52
4.2 Класифікація математичних моделей	54
4.3 Класифікація математичних моделей	58
4.4 Вимоги до математичних моделей.....	59
4.5 Методи одержання математичних моделей.....	60

4.6	Перетворення математичних моделей у процесі одержання робочих програм аналізу.....	64
4.7	Використання методу кінцевих елементів у САПР	67
5	Програмне та інформаційне забезпечення САПР	73
5.1	Програмне забезпечення САПР	73
5.2	Структура ПЗ САПР	74
5.3	Загальносистемне програмне забезпечення	74
5.4	Прикладне програмне забезпечення.....	76
5.5	Інформаційне забезпечення САПР	77
5.6	Класифікація банків даних	79
5.7	Користувачі банку даних і рівні доступу.....	81
5.8	Забезпечення захисту даних у базі	84
5.9	Особливості баз даних САПР	85
6	Лінгвістичне та технічне забезпечення САПР.....	87
6.1	Мови програмування	87
6.2	Мови проектування.....	90
6.3	Командна мова	91
6.4	Меню й шаблони.....	92
6.5	Основні технічні параметри ЕОМ	94
6.6	Периферійні пристрої ЕОМ	97
6.7	Пристрої введення-виводу інформації.....	98
6.8	Пристрої оперативної взаємодії людини з ЕОМ.....	104
7	Інтеграція САД і САМ систем	106
7.1	Виробничий цикл деталі.....	106
7.2	Технологічна підготовка виробництва.....	108
7.3	Неавтоматизований підхід	109
7.4	Модифікований підхід.....	112
7.5	Генеративний підхід	113
7.6	Автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва	114
7.7	Групова технологія	115
7.8	Системи керування даними про продукти.....	116
8	Числове програмне управління.....	119
8.1	Історичний зріз. Виникнення ЧПУ.....	119
8.2	Апаратна конфігурація верстата з ЧПУ	120
8.3	Типи систем ЧПУ.....	122
8.4	Системи NC, CNC, DNC.....	123
8.5	Основи складання програм обробки деталей	125

8.6	Синтаксис програми обробки	129
8.7	Складання програм вручну	129
8.8	Автоматизоване складання програм	130
8.9	Програмування обробки по базі CAD	130
9	Швидке виготовлення прототипів	135
9.1	Появлення систем твердотільного моделювання та їх відмінність від ЧПУ	135
9.2	Основні принципи та різновиди сучасних технологій швидкого виготовлення прототипів	138
9.3	Вартість технології швидкого виготовлення прототипів.....	143
10	Віртуальна інженерія	146
10.1	Компоненти віртуальної інженерії.....	149
10.2	Віртуальне проектування	150
10.3	Цифрова імітація	153
10.4	Віртуальне прототипування.....	154
10.5	Віртуальний завод.....	156
10.6	Застосування віртуальної інженерії	156
10.7	Оцінка можливості виробництва.....	158
10.8	Оцінка й контроль якості.....	158
10.9	Оцінка й оптимізація виробничого процесу.....	160
10.10	Планування виробництва й продуктів	160
10.11	Дослідницькі проблеми і обмеження віртуальної інженерії	162
	Література	166

ВСТУП

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

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

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

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

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

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

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

Підприємства, що ведуть розробки без САПР, або лише з малим ступенем їх використання – виявляються неконкурентоспроможними як внаслідок більших матеріальних і

тимчасових витрат на проектування, так і через невисоку якість самих проектів.

Після закінчення вивчення дисципліни «Основи САПР в автомобілебудуванні», студент повинен **знати:**

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

вміти:

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

володіти:

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

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

1 ВСТУП ДО КУРСУ «ОСНОВИ САПР В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ»

1.1 Значення і мета автоматизованого проектування

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

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

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

Свій початок термін **САПР** (Система Автоматизованого Проєктування) бере в 1970-х роках. САПР або CAD (Computer-Aided Design) звичайно використовуються разом із системами автоматизації інженерних розрахунків і аналізу CAE (Computer-aided engineering). Дані з CAD-систем передаються в CAM (Computer-aided manufacturing) – систему автоматизованої розробки програм обробки деталей для верстатів з ЧПУ або ГАВС (Гнучких Автоматизованих Виробничих Систем).

Під терміном «**САПР для машинобудування**» у нашій країні звичайно мають на увазі пакети, що виконують функції

CAD/ CAM/ CAE/ PDM, тобто автоматизованого проектування, підготовки виробництва й конструювання, а також керування інженерними даними.

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

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

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

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

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

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

категорії».

Посилення конкуренції стимулювало вдосконалювання продуктів: завдяки зручному графічному інтерфейсу значно спростилося їхнє використання, з'явилися нові механізми твердотільного моделювання ACIS і Parasolid, які зараз використовуються в багатьох ведучих САПР, значно розширилися функціональні можливості.

Можна сказати, що перехід у нове століття став для ринку САПР переломним моментом. У такій ситуації на перший план вийшли дві основні тенденції – злиття компаній і пошук нових напрямків для росту.

Яскравий приклад першої тенденції – покупка компанією EDS в 2001 р. двох відомі розроблювачів важких САПР – Unigraphics (рис. 1.1) і SDRC, а другий – активне просування концепції PLM (Product Lifecycle Management) інформацією, що припускає керування, про виріб протягом усього його життєвого циклу.

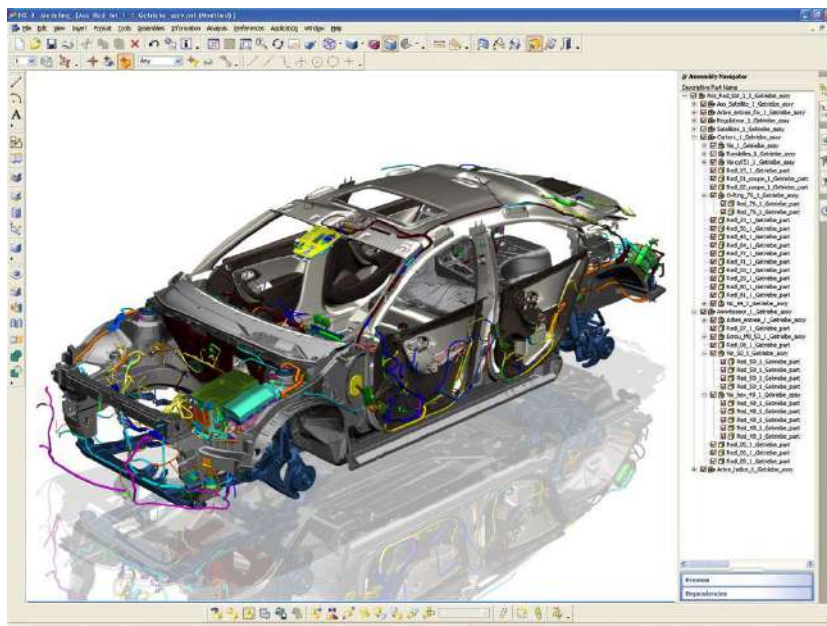


Рисунок 1.1 – Розробка автомобіля в системі NX (Unigraphics)

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

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

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

1.2 Основні відомості про автоматизоване проектування

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

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

Автоматизоване проектування дозволяє значно скоротити суб'єктивізм при прийнятті розв'язків, підвищити точність розрахунків, вибрати найкращі варіанти для реалізації на основі строгого математичного аналізу всіх або більшості варіантів проекту з оцінкою технічних, технологічних і економічних

характеристик виробництва й експлуатації проєктованого об'єкта, значно підвищити якість конструкторської документації, суттєво скоротити строки проєктування й передачі конструкторської документації у виробництво, ефективніше використовувати технологічне встаткування із програмним керуванням.

Автоматизація проєктування сприяє більш повному використанню уніфікованих виробів як стандартних компонентів проєктованого об'єкта. Застосування ЕОМ при проєктуванні різних об'єктів із часом перетерплює значні зміни.

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

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

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

1.3 Структура САПР

САПР містить у собі наступні види забезпечення:

- технічне – пристрої обчислювальної й організаційної техніки, засоби передачі даних, вимірювальні та інші пристрої або їх комбінації;
- математичне – методи, моделі, алгоритми;
- програмне – документи з текстами програм, програми на машинних носіях і експлуатаційні документи;
- інформаційне – документи, що містять описи стандартних

проектних процедур, типових проектних рішень та елементів, матеріалів та інші дані, а також файли й блоки даних на машинних носіях із записом зазначених документів;

- методичне – документи, у яких відбиті состав, правила відбору й експлуатації засобів автоматизації проектування;
- лінгвістичне – мови проектування, термінологія;
- організаційне – положення, інструкції, накази, штатні розклади, кваліфікаційні вимоги та інші документи, що регламентують організаційну структуру підрозділів, їх взаємодію з комплексом засобів автоматизації проектування.

1.4 Основні принципи створення САПР

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

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

1.5 Спеціалізовані САПР

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

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

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

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

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

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

1.6 Види САПР

Історично ринок САПР розділився на кілька сегментів.

Важкі системи – повнофункціональні системи автоматизації проектно-конструкторської і технологічної

підготовки виробництва (в англомовній термінології CAD/CAM), призначені для креслення, двовимірного й тривимірного геометричного, твердотільного й поверхневого моделювання (включаючи моделювання складних поверхонь); поелементного проектування й проектування з комплексним ув'язуванням параметрів.

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

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

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

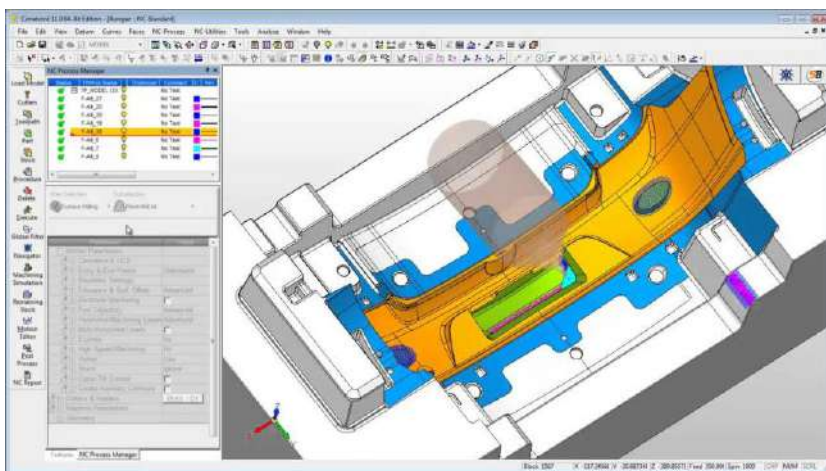


Рисунок 1.2 – Розробка оснащення в системі Simatronic (Ізраїль)

Системи середнього класу – надійні й багатофункціональні продукти, які містять багато компонентів своїх важких

побратимів, за винятком засобів моделювання складних поверхонь, вбудованих підсистем інженерного аналізу (CAE), підготовки виробництва (CAM) і спеціалізованих додатків – багато яких із них можна купити в незалежних розроблювачів.

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

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

З їхньою допомогою можна створювати невеликі складання й окремі деталі. Але з цього не виходить, що такі продукти мало поширені. Напроти, вони знаходять застосування на підприємствах самого різного масштабу. Нерідко компанії, що мають важкі й середні системи, використовують їх для креслярських робіт. Вартість таких САПР набагато нижче, ніж систем більш високого класу, – від \$1000 до \$4000 за робоче місце.

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

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

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

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



Рисунок 1.3 – Система CATIA французької фірми Dassault Systemes

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

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

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

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

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

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

1.7 Типи САПР

САПР двовимірного проектування – «2D-3D Легкі – Нижній рівень».

Ці САПР служать для виконання майже всіх робіт із двовимірними кресленнями та мають обмежений набір функцій по тривимірному моделюванню. За допомогою цих систем виконуються порядку 90 % усіх робіт із проектування. Хоча наявні обмеження роблять їх не завжди досить зручними.

Область їх роботи – створення креслень окремих деталей і складань. Платою за зрослі можливості є ускладнення інтерфейсу й менша зручність у роботі. Характерні представники таких

САПР – AutoCAD (рис. 1.4), CADdy, CADMECH Desktop, Mastercam, T-flexCAD, OmniCAD, Компас-Графік.

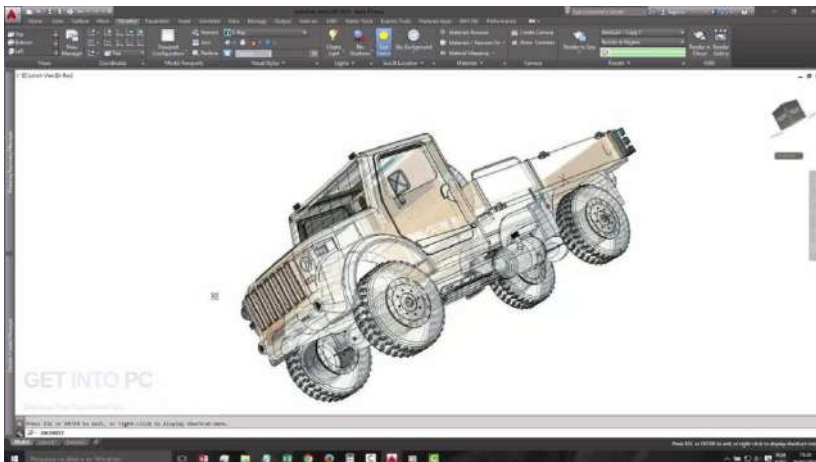


Рисунок 1.4 – AutoCAD приклад «легкої» САПР

САПР об'ємного моделювання «3D – Середній рівень»

По своїх можливостях вони повністю охоплюють САПР «легкого рівня», а також дозволяють працювати зі складаннями, по деяких параметрах вони вже не уступають важким САПР, а в зручності роботи навіть перевершують. Обов'язковою умовою є наявність функції обміну даними (або інтеграції). Це не просто програми, а програмні комплекси, зокрема, Solidworks, Solidedge, Cimatron, Form-Z, Autodesk Inventor (рис. 1.5), CAD Solidmaster, Mechanical Desktop, Designspace.

САПР об'ємного моделювання «3D Важкі – Верхній рівень»

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

Звичайно до складу системи входять як чисто графічні, так і модулі для проведення розрахунків і моделювання, постпроцесори для верстатів зі ЧПУ. Нажаль, ці самі потужні

САПР найбільш громіздкі й складні в роботі, а також мають значну вартість. Прикладами «важких» САПР можуть служити такі продукти, як ADAMS, ANSYS (рис. 1.6), CATIA, EUCLID3, Pro/ENGINEER, Unigraphics.



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

Приблизна вартість усіх САПР співвідноситься по рівнях у такий спосіб:

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

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

наприклад, у САПР ЦКБ МТ «Рубін» (Росія).

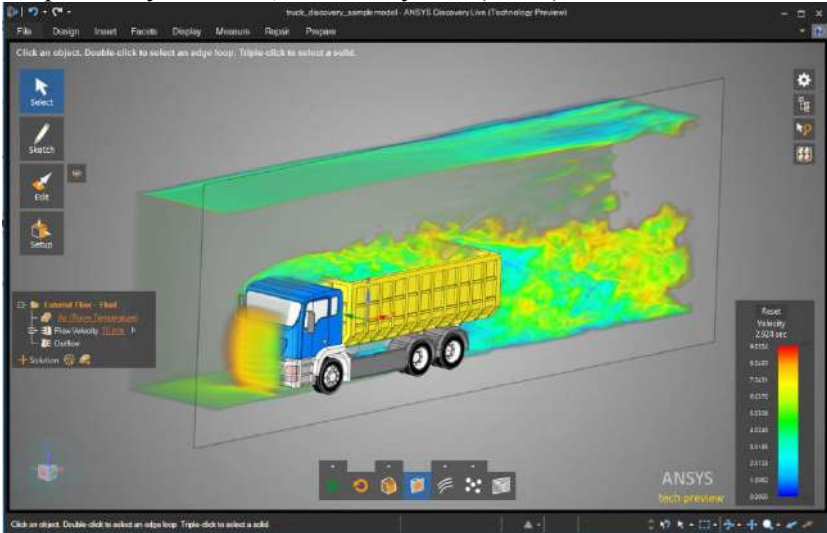


Рисунок 1.6 – Універсальна програмна система кінцево-елементного аналізу ANSYS

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

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

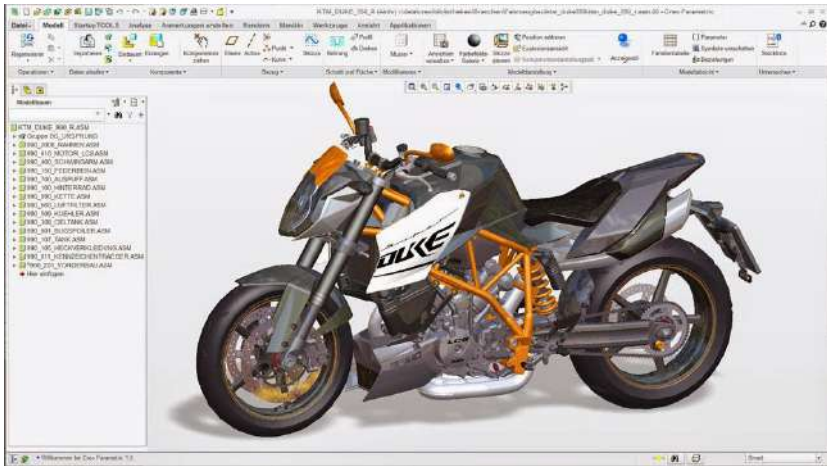


Рисунок 1.7 – Система PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/ENGINEER) компанії Parametric Technology Corporation (PTC)

1.8 Вимоги до САПР

Залежно від **області застосування** вимоги до САПР сильно відрізняються, але можна виділити основні:

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

1.9 Системи САПР використовувані в автомобілебудуванні

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

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

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

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

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

Питання для самоперевірки

1. Що таке САПР?
2. У яких цілях застосовується автоматизоване проектування?
3. Що входить у структуру САПР?

4. Перелічіть основні принципи проектування САПР.
5. Перелічіть спеціалізовані САПР. Охарактеризуйте їх.
6. Які вимоги пред'являються до САПР?
7. Перелічіть види САПР. Охарактеризуйте один вид.
8. Перелічіть типи САПР. Охарактеризуйте один тип.
9. Перелічіть вимоги до САПР.
10. Розкажіть про системи САПР використовувані в автомобілебудуванні.
11. Які найпоширеніші типи САПР для автоматизованого проектування в машинобудуванні?
12. Які найбільш поширені «важкі» системи САПР?
13. Що визначає якість автоматизованого проектування?

2 ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Принципи і мета створення САПР

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

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

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

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

З інформаційної точки зору проектуванням є процес перетворення вхідної інформації про об'єкт проектування, про стан знань у розглянутій області, про досвід проектування об'єктів аналогічного призначення – у вихідну інформацію, у вигляді проектно-конструкторської й технологічної документації, виконаної в певній формі й утримуючої опис об'єкта для його матеріальної реалізації.

З погляду теорії прийняття рішень, проектування представляється як процес прийняття проектно-конструкторських рішень, спрямований на одержання задовольняючого технічному завданню опису технічної системи, заданого ступеня деталізації. Проектний розв'язок являє собою проміжний або кінцевий опис

об'єкта проектування, необхідний і достатній для ухвалення рішення по визначенню подальшого напрямку або закінчення процесу проектування.

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

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

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

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

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

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

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

САПР створюються з метою:

- забезпечення високих темпів проектування сучасних виробів;
- підвищення якості й техніко-економічного рівня проєктованих об'єктів;
- здійснення інтеграції процесів автоматизації й

підвищення ефективності об'єктів проектування при їхнім створенні й експлуатації за рахунок зменшення витрат на їхнє проектування, створення та експлуатацію;

- скорочення строків проектування;
- зменшення трудомісткості процесу проектування й скорочення частки рутинних проектних робіт;
- підвищення продуктивності праці;
- підвищення якості проектної документації.

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

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

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

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

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

Досягнення цілей функціонування САПР забезпечується:

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

2.2 Процес і завдання проектування

Проектування технічного об'єкта пов'язане зі створенням, перетворенням і відображенням в прийнятій формі образу цього об'єкта. Образ об'єкта або його складових частин може

створюватися в уяві людини в результаті творчого процесу або генеруватися по деяких алгоритмах у процесі взаємодії людини з ЕОМ. У кожному разі проектування починається при наявності завдання на проектування.

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

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

2.3 Аспекти описів спроектованих об'єктів

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

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

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

просторі.

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

2.4 Етапи і режими проектування у САПР

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

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

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

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

Види описів проектованих об'єктів і класифікація їх параметрів. Процес проектування починається з одержання технічного завдання на проектування. Завдання представляється у вигляді тих або інших документів і є вихідним (первинним)

описом об'єкта. Остаточний опис проектованого об'єкта являє собою повний комплект схемної, конструкторської й технологічної документації, оформленої по ЕСКД і призначеної для використання в процесі виготовлення й експлуатації цього об'єкта.

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

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

Автоматичний режим – має місце при виконанні маршруту проектування по формальних алгоритмах на ЕОМ без втручання людини в хід розв'язку.

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

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

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

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

Інтерактивні системи дозволяють ефективно вирішувати багато важко формалізованих завдань. Формальні компоненти

передаються на ЕОМ, а неформальні залишаються прерогативою людини й легко коректують і доповнюють формальні компоненти через діалоговий режим взаємодії людини з ЕОМ, здійснюваного по ходу розв'язку завдання. З'являється можливість відмовитися від традиційної «точної процедури оптимізації» й перейти на наближену оптимізацію на основі модельного експерименту шляхом постановки питань типу «що, якщо...?»

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

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

2.5 Інтелектуальні системи автоматизованого проектування

Можливість інтелектуалізації автоматизованого проектування.

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

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

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

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

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

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

2.6 Штучний інтелект

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

У порівнянні зі звичайними програмними системами, системи обробки знань відрізняються такими гідностями, як можливість порівняно простої реалізації, легкої адаптованості до змін навколишнього середовища, простотою освоєння. Тому при належному виборі проблеми, що укладається в концепції систем обробки знань, можна сподіватися на одержання гарних результатів.

Поняття інтелектуальної САПР.

Принципова відмінність інтелектуальних систем автоматизованого проектування полягає в тому, що в якості вихідної інформації виступають технічні вимоги до виробу й знання про методи його проектування, засновані на його функціональному призначенні й досвіді експерта. Поняття інтелектуальної САПР говорить про присутність у системі знань,

тобто можливості на якому-небудь рівні ухвалювати розв'язки без участі проектувальника.

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

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

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

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

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

2.7 Принцип створення інтелектуальної САПР

В основі інтелектуальної САПР лежить банк знань. Формування банку знань – основне завдання побудови інтелектуальному САПР. На цій стадії знання експерта

формалізуються відповідно до закладених методик.

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

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

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

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

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

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

Питання для самоперевірки

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

3 CALS-ТЕХНОЛОГІЇ – ПОНЯТТЯ ПРО ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ВИРОБУ

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

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

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

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

3.1 Виникнення концепції CALS та її еволюція

Вперше роботи зі створення інтегрованих систем, що підтримують життєвий цикл продукції, були початі в 1980-х р. в оборонному комплексі США. Передбачалося, що реалізація нової

концепції, яка одержала позначення CALS (Computer Aided Logistic Support – комп'ютерна підтримка процесу поставок), дозволить скоротити витрати на організацію інформаційної взаємодії державних установ із приватними фірмами в процесах розробки, поставок і експлуатації військової техніки.

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

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

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

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

3.2 Стандарти CALS-технологій

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

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

- регламентацію безперервної комп'ютеризованої підтримки життєвого циклу створення й експорту складної наукомісткої продукції з урахуванням вимог

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

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

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

3.3 Структура Інтегрованого Інформаційного Середовища (ІС)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.4 Концепція впровадження CALS-технологій

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

- комп'ютерна автоматизація, що дозволяє підвищити продуктивність основних процесів і операцій створення

інформації;

- інформаційна інтеграція процесів, що забезпечує спільне й багаторазове використання тих самих даних. Інтеграція досягається мінімізацією числа й складності допоміжних процесів і операцій, пов'язаних з пошуком, перетворенням і передачею інформації. Одним з інструментів інтеграції є стандартизація способів і технологій представлення даних для того, щоб результати попереднього процесу могли бути використані для наступних процесів з мінімальними перетвореннями;
- перехід до безпаперової організації процесів і застосування нових моделей їх організації.

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

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

Приведемо деякі кількісні оцінки ефективності впровадження CALS у промисловості США:

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

документації – до 30 %;

- скорочення часу розробки виробів – 40...60 %.

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

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

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

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

Розробка програмних засобів, що реалізують CALS-технології, припускає створення спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) вистави, що реалізує концепцію усієї інформації про виріб в електронному вигляді. Сюди відносяться всі програмні продукти, використовувані при розробці, виробництві й експлуатації продукції: САПР різного рівня, системи керування даними про виріб (PDM-системи), програми інженерних розрахунків, системи підготовки експлуатаційної документації тощо.

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

- розробка й промислова апробація програмно-методичних

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

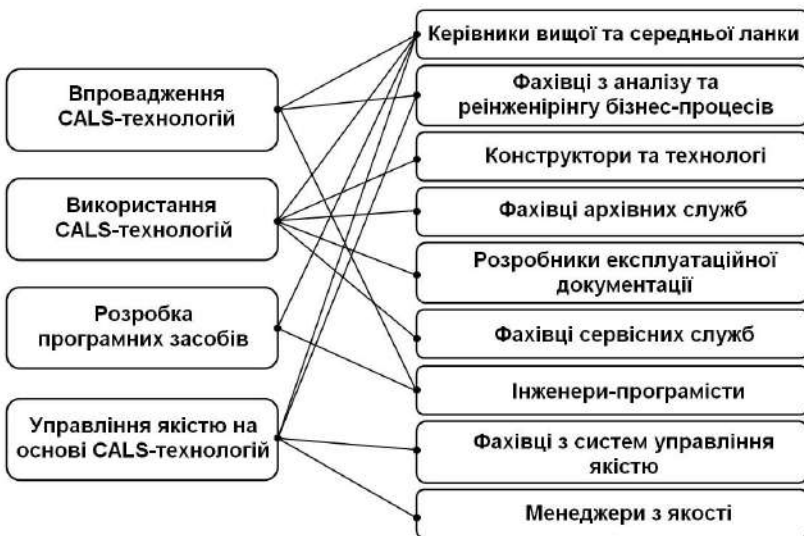


Рисунок 3.1 – Зв'язок між сферами діяльності і необхідними спеціальностями

3.5 Основа CALS-технологій

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

Розглянемо далі весь комплекс питань, пов'язаний із класифікацією й структурою АІС, їх апаратним і програмним

забезпеченням, а також можливими областями використання в машинобудівних виробництвах.

3.6 Класифікація й структура АІС

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

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

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

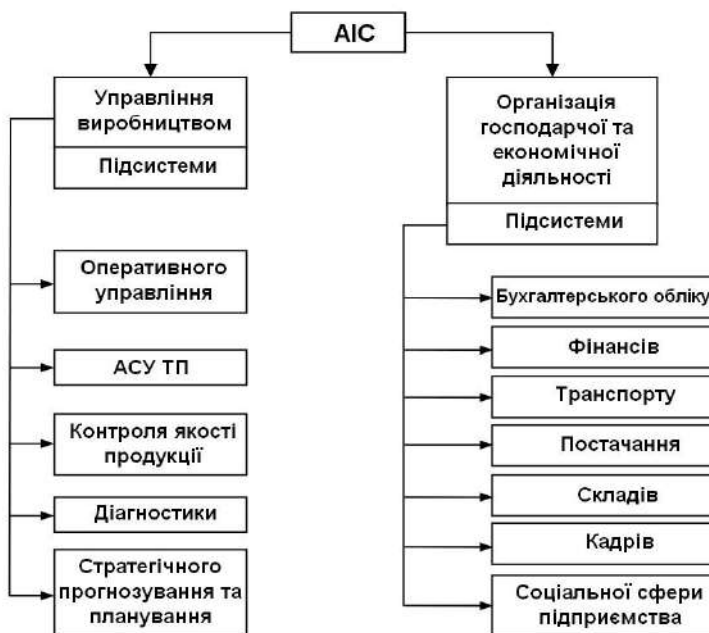


Рисунок 3.2 – Класифікація АІС на підприємстві

По цільовому призначенню АІС класифікуються на:

- бухгалтерські (accounting information system – AIS);

- адміністративні (management information system – MIS) – здійснюють збір і обробку всіх даних, необхідних для планування, обслуговування, перевірки, оцінки й керування діяльністю організації;
- інформаційні системи керівників (ICK, або executive information system – EIS) – ухвалюють дані з багатьох джерел, поєднують і роблять їхніми доступними в зручному діалоговому форматі;
- склади даних (data warehouses) – це база даних, що зберігає всю інформацію, що стосується діяльності компанії. Усі прикладні програми компанії можуть звертатися до неї з різними запитамі;
- системи автоматизованого проектування (САПР, або CAD/CAE – computer assisted design/engineering);
- автоматизовані системи керування виробництвом (АСВП, або САМ – computer assisted manufacturing) представляють із себе комплекс апаратних і програмних засобів, що брав участь у виробництві. До них відносяться верстати з ЧПУ, робототехнічні комплекси тощо. Разом із САПР, такі системи в деяких випадках дають можливість стерти грань між розробкою й виробництвом і випускати продукти з коротким життєвим циклом;
- системи підтримки рішень (СПР, або decision support systems – DSS) дозволяють користувачеві вивчати альтернативи, ставити запитання типу «що буде, якщо», оперувати мінливими умовами й ухвалювати розв’язки в непередбачених ситуаціях. Крім бази даних, такі системи містять базу моделей і мають діалогові засоби, що дозволяють застосовувати ці моделі, як би «програючи» наявні дані на моделі з метою довідатися, які наслідки викличе те або інший рішення. Щоб полегшити застосування моделей, СПР дуже часто присвячуються вузькій предметній області. Для роботи з СПР досить володіти графічним інтерфейсом і знати область застосування;
- експертні системи (ЕС, або expert system – ES) містять знання й досвід одного або більше фахівців у певній предметній області. ЕС, крім бази даних, містить базу

знань (фактів і правил логічного висновку), яка моделює пізнання експерта в якійсь предметній області. Підсистема логічного виводу покликана відповідати на запитання користувачів, а підсистема пояснень призначена для відповіді на запитання, як був отриманий той або інший висновок. Частіше такі системи застосовуються для «розширення» сфери діяльності провідних спеціалістів фірми, або щоб «залучити» експерта зі сторони;

- системи кінцевого користувача (СКП, або end user system – EUS) розробляються користувачами, щоб задовольнити свої власні потреби в пошуку інформації, особистої продуктивності й розробки додатків.

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

Функціональна частина забезпечує реалізацію певних функцій керування. До функціональних підсистем відносяться: технічна підготовка виробництва; підготовка оперативного керування; підготовка матеріального постачання; підготовка збуту й реалізації готової продукції; підготовка керування кадрами; підготовка керування бухгалтерією, відділ кадрів.

Забезпечуючі підсистеми діляться на:

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

- лінгвістичне забезпечення (використання словників, визначень, що дозволяє ідентифікувати різні елементи системи).

3.7 Життєвий цикл промислових виробів

Життєвий цикл промислових виробів включає ряд етапів, починаючи від зародження ідеї нового продукту, до утилізації по закінченню строку його використання. Основні етапи життєвого циклу виробу представлені на рис. 3.3.

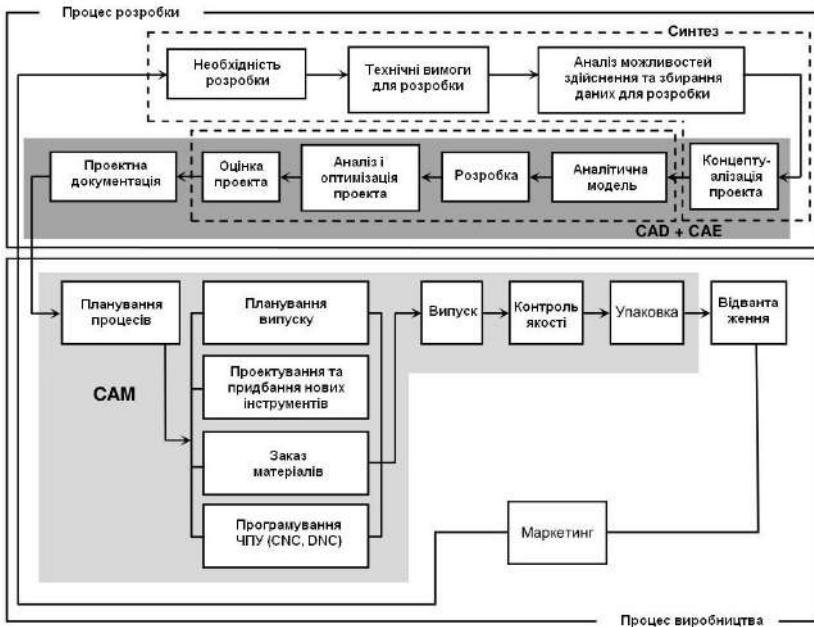


Рисунок 3.3 – Життєвий цикл виробу

До них відносяться етапи проектування, технологічної підготовки виробництва (ТПВ), власне виробництва, реалізації продукції, експлуатації, й нарешті, утилізації.

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

На етапах проектування, ТПВ і виробництва, потрібно забезпечити виконання ТЗ (технологічного завдання) при

заданому ступені надійності виробу й мінімізації матеріальних і тимчасових витрат, що необхідно для досягнення успіху в конкурентній боротьбі в умовах ринкової економіки. Поняття ефективності охоплює не тільки зниження собівартості продукції й скорочення строків проектування й виробництва, але й забезпечення зручності освоєння й зниження витрат на майбутню експлуатацію виробів. Особливу важливість вимоги зручності експлуатації мають для складної техніки, наприклад, у таких галузях, як авіа- або автомобілебудування.

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

Основні типи АІС із їхньою прив'язкою до тих або інших етапів життєвого циклу виробів показані на рис. 3.4.

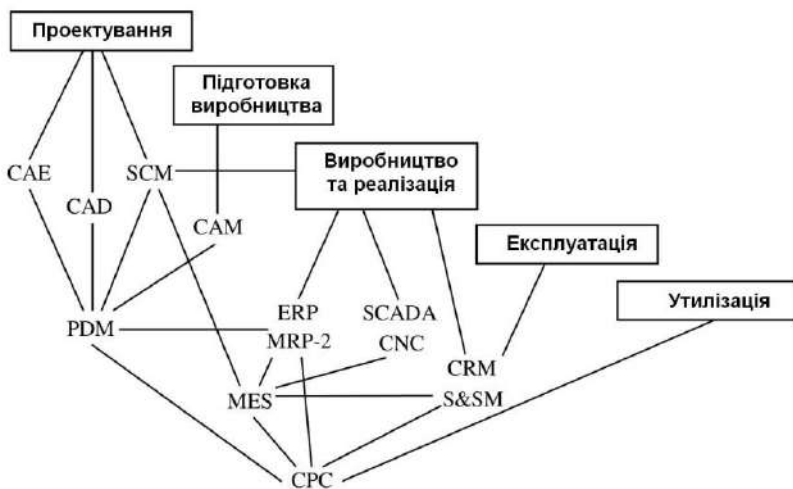


Рисунок 3.4 – Етапи життєвого циклу промислових виробів і використовувані АІС

Автоматизація проектування при цьому, здійснюється САПР. В САПР машинобудівних галузей промисловості прийнято виділяти системи функціонального, конструкторського й

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

Системи конструкторського проектування називають системами CAD (Computer Aided Design). Проектування технологічних процесів становить частину технологічної підготовки виробництва й виконується в системах CAM (Computer Aided Manufacturing).

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

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

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

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

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

На етапі реалізації продукції виконуються функції керування відносинами із замовниками й покупцями, проводиться аналіз

ринкової ситуації, визначаються перспективи попиту на плановані вироби. Ці функції здійснює система CRM.

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

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

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

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

Останнім часом зусилля багатьох компаній, що роблять програмно-апаратні засоби АЗ, спрямовані на створення систем електронного бізнесу (E-Commerce). Завдання, розв'язувані системами E-Commerce, зводяться не тільки до організації на сайтах Internet вітрин товарів і послуг.

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

Характерна риса CPC – забезпечення взаємодії багатьох

підприємств, тобто технологія СРС є основою, що інтегрує інформаційний простір, у якому функціонують САПР, ERP, PDM, SCM, CRM та інші АІС різних підприємств.

Питання для самоперевірки

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

4 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

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

4.1 Математичні моделі

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

При автоматизації проектування, специфіка проєктованих об'єктів знаходить своє відбиття насамперед у їх ММ. При проектуванні таких складних об'єктів, як автомобіль або трактор, доводиться мати справу з безліччю ММ окремих агрегатів, вузлів, деталей, причому кожний з елементів конструкції вимагає, як правило, розробки декількох ММ, що описують обмежене коло властивостей елемента. Так, відносно простий, на перший погляд, елемент конструкції, як пневматичне колесо, має окремі ММ для опису його складу, форми, тягових, пружних властивостей, амортизуючих властивостей, що визначають його вантажопідйомність, вплив на керованість і стійкість руху машини та ін.

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

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

Розрізняють вихідні, вхідні й внутрішні параметри.

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

Внутрішні параметри – параметри елементів.

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

Іншими словами, на кожному ієрархічному рівні вихідні параметри характеризують властивості системи, а внутрішні – властивості елементів. Слід зазначити, що при переході до нового рівня розгляду, внутрішні параметри можуть стати вихідними й навпаки. Наприклад, геометричні розміри пружного елемента підвіски автомобіля або трактора є внутрішніми параметрами

підвіски, а її жорсткість – вихідним параметром. У свою чергу жорсткість підвіски – внутрішній параметр усієї коливальної системи. Типовими прикладами зовнішніх параметрів можуть служити параметри навантаження, вологість і температура навколишнього середовища й т.п.

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

4.2 Класифікація математичних моделей

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

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

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

Такі моделі можуть виражатися сукупністю рівнянь ліній і поверхонь, алгебраїчних співвідношень, що описують області, що

становлять тіло об'єкта. При описі конструкції, що складається з типових елементів, використовуються графі й списки.

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

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

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

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

Математична модель, отримана безпосереднім об'єднанням моделей елементів блоку в загальну систему рівнянь, називається **повною моделлю** блоку. Характерною її особливістю є

присутність у ній вектора внутрішніх фазових змінних, тобто вона описує й стан кожного з елементів блоку.

При великій кількості елементів порядок системи рівнянь стає надмірно великим і потрібні спрощення. При переході до більш високого ієрархічного рівня спрощення засновані на виключенні з моделі вектора внутрішніх змінних. Така модель називається **макромоделлю**. Вона вже не описує процеси усередині блоку, а характеризує тільки процеси взаємодії даного блоку з іншими в складі системи блоків. Поняття макромоделей має істотне значення в блочно-ієрархічному підході до проектування. Заміна повних моделей блоків їх макромоделями дозволяє перейти на більш високий ієрархічний рівень, де блок нижчого рівня виступає вже в якості елемента нового, укрупненого блоку (або системи повністю).

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

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

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

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

Прикладами таких моделей служать диференціальні рівняння в частинних похідних – рівняння пружності, електродинаміки,

теплопровідності, гідродинаміки, газової динаміки, які описують напружено-деформований стан деталей механічних конструкцій, поля електричного потенціалу й температури тощо.

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

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

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

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

характеризують прояви зовнішніх властивостей елементів при їхній взаємодії між собою й зовнішнім середовищем.

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

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

Тут роль елементів і внутрішніх параметрів виконують системи й вихідні параметри попереднього ієрархічного рівня. Так, елементами автомобіля або трактора на метарівні можна вважати двигун, коробку передач, ведучий міст, колесо. Моделювання на метарівні дозволяє виконати тягово-динамічний розрахунок автомобіля, тяговий розрахунок трактора, розв'язати питання компоновання машини, виконати основні розрахунки на міцність і опір втомі деталей.

4.3 Класифікація математичних моделей

Математичні моделі розрізняють також залежно від форми їх представлення.

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

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

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

завжди можливо одержати.

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

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

4.4 Вимоги до математичних моделей

Основними вимогами, висуваними до ММ, є вимоги адекватності, універсальності й економічності.

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

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

Універсальність моделі в першу чергу залежить від числа й

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

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

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

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

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

4.5 Методи одержання математичних моделей

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

Одержання моделей елементів (модельовання елементів) у загальному випадку – процедура неформалізована. Основні рішення, що стосуються вибору виду математичних співвідношень, характеру використовуваних змінних і параметрів, ухвалює розроблювач моделі. У той же час такі операції, як розрахунки чисельних значень параметрів моделі, визначення областей адекватності та ін., алгоритмізовані й

вирішуються на ЕОМ. Тому моделювання елементів звичайно виконується фахівцями конкретних технічних областей за допомогою традиційних засобів експериментальних досліджень і засобів САПР.

Методи одержання функціональних моделей елементів ділять на теоретичні й експериментальні.

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

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

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

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

Експериментальні методи одержання ММ зручні для

моделювання безінерційних об'єктів з відносно гладкими залежностями між змінними. Результатом застосування цих методів стають моделі, що мають приватний характер.

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

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

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

значень вихідних параметрів об'єкта з результатами використання моделі, а керованими параметрами є параметри моделі;

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

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

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

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

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

елементів. Більше того, ці типи елементів повторюються в багатьох проєктованих об'єктах не тільки аналогічного, але й іншого призначення, і навіть в об'єктах іншої фізичної структури.

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

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

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

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

4.6 Перетворення математичних моделей у процесі одержання робочих програм аналізу

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

операцій).

Усі перетворення вихідної ММ у послідовність елементарних дій ЕОМ виконуються автоматично по спеціальних програмах, створеним розроблювачем САПР. Користувач САПР повинен лише вказати, які програми з наявних він прагне використовувати. Однак йому важливо знати методи розв'язку рівнянь, насамперед для правильного вибору прикладних програм у конкретних ситуаціях.

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

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

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

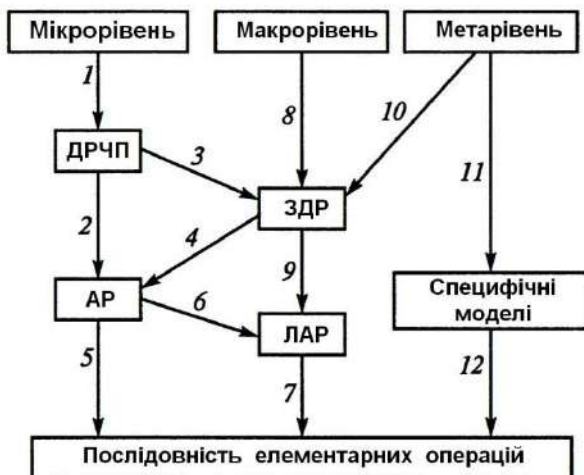
Докладно ці методи розглядаються при вивченні дисциплін «Математика» і «Інформатика». Процес перетворення ММ, що відносяться до різних ієрархічних рівнів, ілюструє рис. 4.1.

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

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

Якщо ДРЧП стаціонарні (описують статичний стан і час не фігурує в якості незалежної змінної), дискретизація й

алгебраїзація перетворюють систему ДРЧП у систему алгебраїчних рівнянь (АР) – гілка 2 (рис. 4.1).



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

Рисунок 4.1 – Перетворення математичної моделі

Якщо система ДРЧП нестационарна, дискретизацію й алгебраїзацію можна представити із двох етапів: усунення похідних по просторових координатах (гілка 5), у результаті чого виходить система звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР), і усунення похідних за часом (гілка 4 або гілка 9).

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

З погляду користувача методи відрізняються ступенем універсальності, швидкістю обчислень і вимогами до обсягу

оперативної пам'яті. У САПР широко використовуються методи Гіра, Адамса й Рунге-Кутта.

4.7 Використання методу кінцевих елементів у САПР

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

За допомогою методу кінцевих елементів вирішуються завдання поширення тепла, завдання пружних деформацій, завданням гідромеханіки, зокрема, завдання плинину рідини – усі ті завдання, коли можна суцільне середовище замінити еквівалентною шарнірною системою.

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

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

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

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

безперервність величини уздовж границь елемента.

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

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

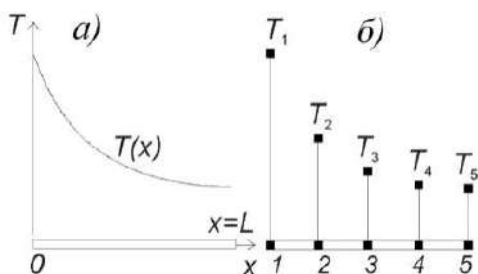


Рисунок 4.2 – Розподіл температури в одномірному стрижні (а), вузлові точки й передбачувані значення $T(x)$ (б)

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

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

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

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

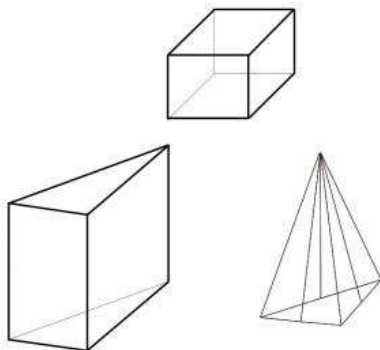


Рисунок 4.3 – Типи тривимірних кінцевих елементів

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

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

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

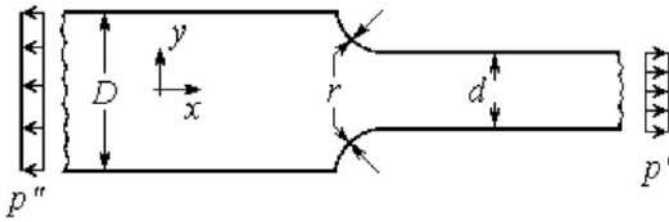


Рисунок 4.4 – Осьове навантаження деталі

Оскільки деталь кругла й напруги в ній розподілені симетрично, тому розбивка проводиться в осьовій площині й на половині деталі (рис. 4.5).

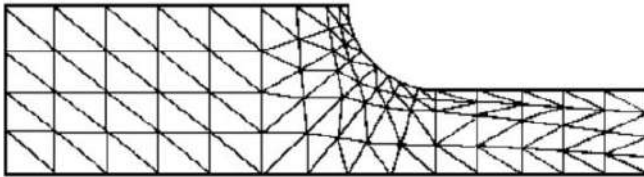


Рисунок 4.5 – Нанесення сітки на деталь

Деталь має концентратори напруги в місцях переходу діаметрів, тому в зоні концентрації напруги сітка наноситься більш щільно. Сітка повторює форму деталі, граничні елементи перебувають на поверхні деталі.

Метод кінцевих елементів, як найбільш універсальний метод, заслужено одержав широке поширення, оскільки з його допомогою вирішуються завдання практично будь-якої складності, при одночасному високому ступені автоматизації розрахунків і аналізу їх результатів.

Приклади використання методу кінцевих елементів приведено на рис. 4.6 (система CATIA), та на рис. 4.7 (система NX). Сучасні системи 3D моделювання такі як SolidWorks, Solidedge, PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/ENGINEER), NX (колишня назва Unigraphics), CATIA – розраховані на одночасну роботу по підготовці геометричної моделі й проведення аналізу методом кінцевих елементів.

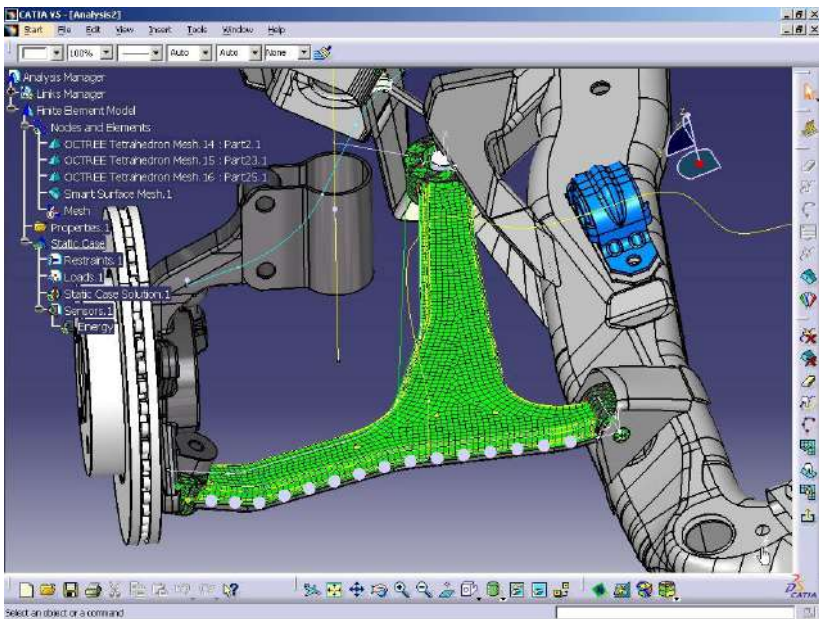


Рисунок 4.6 – Кінцево-елементний аналіз нижнього ричага підвіски автомобіля безпосередньо під час моделювання в системі САТІА

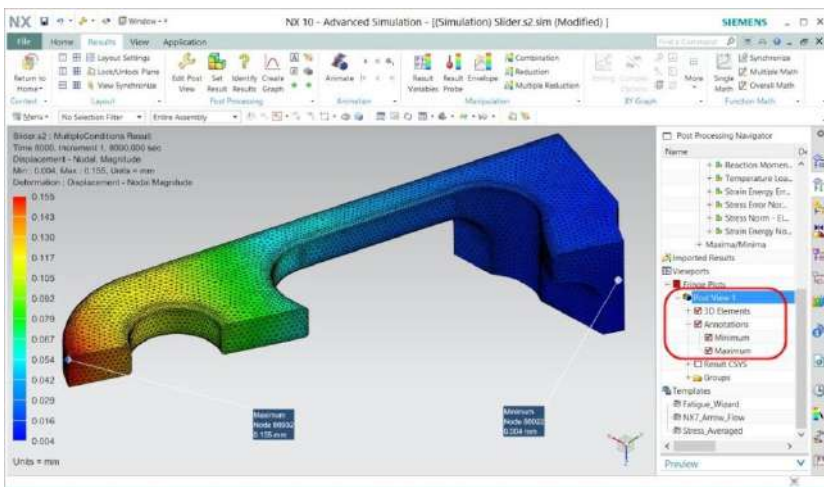


Рисунок 4.7 – Вікно системи NX компанії Siemens під час виконання аналізу деталі методом кінцевих елементів

Такий підхід значно скорочує тривалість циклу «проекування – аналіз – зміна», і більш надійний (виключає втрату даних), оскільки не вимагає передачі й перетворення даних між різними програмами, наприклад у спеціалізовану систему кінцево-елементного аналізу ANSYS.

Питання для самоперевірки

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

5 ПРОГРАМНЕ ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

5.1 Програмне забезпечення САПР

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

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

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

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

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

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

Відкритість ПЗ характеризується можливостями внесення в нього змін у процесі експлуатації. Поняття відкритості близько до поняття адаптованості, під яким мається на увазі можливість модифікації ПЗ для підтримки його працездатності й ефективності в мінливих умовах застосування. Відкрите програмне забезпечення дозволяє користувачам набудовувати або надбудовувати програми залежно від своїх потреб, наприклад, за допомогою підключення програмних модулів, написаних на мовах високого рівня або за рахунок єдиної інформаційної бази.

Мобільність ПЗ визначається легкістю перебудови ПЗ, що

експлуатувалися на ЕОМ з однієї системою команд на машини з іншою системою команд. Використання мов високого рівня створює передумови для створення мобільних програм.

5.2 Структура ПЗ САПР

Програмне забезпечення САПР ділиться на загальносистемне, базове й прикладне.

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

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

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

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

5.3 Загальносистемне програмне забезпечення

Типова структура загальносистемного програмного забезпечення показана на рис. 5.1.

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

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



Рисунок 5.1 – Структура загальносистемного програмного забезпечення

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

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

ОС класифікуються по наступних ознаках:

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

Якщо система багатокористувацька, то звичайно вона й багатозадачна, але не навпаки.

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

Система CP/M (Control Program for Microcomputers) розроблена в 1974 р. Це однозадачна ОС. Система MS-DOS

(Microsoft Disk Operating System) розроблена в 1981 році. Це однозадачна ОС.

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

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

5.4 Прикладне програмне забезпечення

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

Відкриті системи й об'єктно-орієнтований підхід.

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

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

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

Відкриті системи дозволяють користувачам позбутися залежності від конкретних розроблювачів САПР. Орієнтуючись

на продукцію однієї компанії, користувач має можливість обирати будь-який програмний продукт іншої компанії, що дотримує загальноприйняті стандарти. Це стосується й апаратних засобів. Такі системи дають можливість використання готових інформаційних ресурсів, наявних в інших системах (фірмах).

Звичайно загальними властивостями відкритих систем є:

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

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

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

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

5.5 Інформаційне забезпечення САПР

Основу інформаційного забезпечення САПР становлять дані, якими користуються проектувальники в процесі проектування безпосередньо для виробітку проектних рішень. Ці дані можуть бути представлені у вигляді тих або інших документів на різних носіях, що містять відомості довідкового характеру про матеріали виробів, комплектуючі, відомості із ДСТУ і нормалей, типові

проектні рішення, параметри елементів, відомості про стан поточних розробок у вигляді проміжних і остаточних проектних рішень, структур і параметрів проєктованих об'єктів і т.п.

Дані можуть мати вигляд цифр, тексту, таблиць, графічного зображення, бути первинними або похідними (розрахунковими); відноситися до нормативно-довідкової або оперативної інформації; призначатися для обліку або ухвалення рішення.

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

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

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

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

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

стовпці представляють поля записів.

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

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

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

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

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

5.6 Класифікація банків даних

Банки даних і їх складові частини класифікують по ряду ознак.

По ступеню *універсальності* розрізняють СУБД універсальні й спеціалізовані, а БД – проектно-залежні й проектно-незалежні. *Універсальні* СУБД можна використовувати в різних додатках, спеціалізація відповідного банку даних при цьому буде визначатися конкретним наповненням БД. Можливості побудови універсальних СУБД впливають із ідентичності структур даних,

що мають різну проблемну приналежність. Серед універсальних систем керування базами даних можна відзначити: dbase, Clipper, Foxpro, Lotus, Paradox, Access та ін.

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

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

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

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

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

Документальні (дескрипторні) БД, називані також інформаційно-пошуковими системами (ІПС), характеризуються

тим, що інформація представляється у вигляді слабоструктурованих записів.

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

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

Модифікація даних у *змінюваних БД* виконується адміністратором БД за заявками користувачів через певні (досить тривалі) проміжки часу. *Статичні БД* на відновлення даних не розраховані. БД використовуються в САПР для зберігання інформації нормативно-довідкового характеру (ДСТУ, нормалей і т.п.), а також відомостей про раніше виконані розробки й типових проектних рішеннях.

5.7 Користувачі банку даних і рівні доступу

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

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

правил і угод.

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

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

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

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

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

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

- задовольняти актуальним інформаційним потребам користувачів, забезпечувати можливість зберігання й модифікації великих обсягів багатоаспектної інформації, задовольняти знову виникаючі потреби користувачів;
- забезпечувати заданий рівень вірогідності збереженої інформації та її несуперечність;
- забезпечувати доступ до даних тільки користувачів з відповідними повноваженнями;
- забезпечувати можливість пошуку інформації з довільної

- групи ознак;
- задовольняти заданим вимогам продуктивності при обробці запитів;
- мати можливість реорганізації й розширення при зміні границь предметної області;
- забезпечувати видачу інформації користувачам у різній формі;
- забезпечувати простоту й зручність обігу користувачів за інформацією;
- забезпечувати можливість одночасного обслуговування великої кількості користувачів і т.п.

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

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

- **скорочення надмірності збережених даних.** Може бути забезпечена мінімально необхідна (наприклад, тільки для забезпечення необхідної продуктивності системи) надмірність (дублювання) збережених даних;
- **усунення суперечливості збережених даних.** Наслідком усунення надмірності даних є усунення можливості виникнення суперечливості тих самих даних у різних додатках. Дійсно, оскільки усувається можливість зберігання того самого даного в різних записах, усувається ситуація, коли при фактичній зміні значення даного воно виявиться зміненим не у всіх записах;
- **багатоаспектне використання даних.** Централізоване керування дозволяє повною мірою вирішувати таке питання, як забезпечення нових додатків за рахунок уже наявних даних, тобто забезпечується реалізація принципу однократного введення й багатоаспектного використання даних;
- **комплексна оптимізація.** У максимальному ступені усуваються суперечливі вимоги, наприклад, на основі аналізу вимог користувачів можна вибрати такі структури зберігання даних, які забезпечать найкраще

- обслуговування в цілому;
- **забезпечення можливості стандартизації.** Забезпечується стандартизація у представленні даних, що спрощує експлуатацію банку даних, обмін даними з іншими автоматизованими системами, полегшує виконання процедур контролю й відновлення даних;
 - **забезпечення можливості санкціонованого доступу до даних.** Інтеграція (об'єднання) даних приводить до того, що дані, використовувані різними користувачами, можуть перетинатися всіляким образом. У цих умовах особливо важлива наявність механізму захисту даних від несанкціонованого доступу до них, тобто доступ до певних груп даних повинен дозволятися тільки користувачам з відповідними повноваженнями.

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

5.8 Забезпечення захисту даних у базі

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

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

Тому забезпечення безпеки – це внутрішнє завдання банку даних, оскільки пов'язана з його нормальним функціонуванням.

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

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

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

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

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

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

5.9 Особливості баз даних САПР

Різноманітність проектних процедур у САПР обумовлює різноманітність типів і структур даних, якими обмінюються користувачі й прикладні програми через БД. База даних САПР повинна бути пристосована для зберігання: відомостей

довідкового характеру про використовувані матеріали комплектуючих деталей, які спочатку мають форму таблиць; інформації про креслення й схеми, що вимагають для свого представлення в ЕОМ спеціального кодування; текстових документів типу пояснювальних записок, інструкцій із проектування, описів програм тощо.

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

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

Питання для самоперевірки

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

6 ЛІНГВІСТИЧНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

Лінгвістичне забезпечення САПР – це набір мов, для представлення інформації, якої обмінюється людина з ЕОМ у процесі автоматизованого проектування. Мови САПР діляться на мови програмування й проектування.

6.1 Мови програмування

Мови програмування – це мови, призначені для написання програмного забезпечення. Ці мови – засіб розроблювача САПР. До мов програмування висувають вимоги зручності використання, універсальності й ефективності об'єктних програм (тобто програм, отриманих після трансляції на машинну мову).

Зручність використання виражається у витратах часу програміста на освоєння мови й головним чином на написання програм на цій мові. *Універсальність* визначається можливостями мови для опису різноманітних алгоритмів, характерних для програмного забезпечення САПР, а *ефективність об'єктних програм* – властивостями використовуюваного транслятора, які, у свою чергу, залежать від властивостей мови. Ефективність оцінюється витратами машинних часу й пам'яті на виконання програм.

З позицій універсальності й ефективності об'єктних програм, найкращі властивості мають машинно-орієнтовані мови. Близькість до машинних мов (мов машинних команд), обумовлює простоту й ефективність трансляторів на машинну мову.

Машинно-орієнтовані мови – це *Асемблер* або *Макроасемблер*. Асемблер – це проста мова програмування, мова низького рівня, у якому команди ЕОМ складаються, хоча й кожна окремо, але в спрощеній формі із символічних слів. Макроасемблер – це модифікація Асемблера, яка забезпечує об'єднання часто використовуваних елементарних команд. Однак мова Асемблер незручна для людини, її використання знижує продуктивність праці програмістів. Тому її застосовують для розробки лише тих модулів програмного забезпечення САПР, які вимагають для свого виконання великих обчислювальних ресурсів, що суттєво впливає на загальні витрати машинних часу

й пам'яті.

Програми, написані на мовах високого рівня, компілюються на машинну мову. Виконання такої програми на ЕОМ відбувається повільніше, чим програми, написані мовою низького рівня, доступ програміста до специфічних можливостей ЕОМ також обмежений. Зате полегшує й прискорюється складання програм, і вони принципово переносяться на різні типи ЕОМ.

Серед алгоритмічних мов високого рівня, створених на ранніх етапах розвитку обчислювальної техніки (перша версія мови створена в 1954 р.), найбільше поширення одержала мова ФОРТРАН. Її порівняльна простота обумовлює легкість освоєння й достатньо високу ефективність об'єктних програм при розв'язку завдань чисельного аналізу. Мова ФОРТРАН широко використовувалася в САПР, особливо розроблених в 70-і роки ХХ ст., завдяки простоті розробки ефективних трансляторів.

Однак мова ФОРТРАН має обмежені можливості для опису складних алгоритмів логічного характеру, у ній немає засобів для зручного опису різноманітних структур даних, немає строгого опису мови. Тому при створенні таких програм, як монітори або мовні процесори, використовують або мову Асемблер, або мови високого рівня з більш розвиненими можливостями опису не обчислювальних процедур. До таких мов відносяться ПЛ/1, ПАСКАЛЬ, АДА, С (вимовляється Сі), ЛІСП (LISP), Автолісп (Autolisp).

Мова С є одною з основних мов програмування в САПР. Вона поєднує риси мов високого рівня й мови Асемблер, що робить зручною її застосування при розробці системного програмного забезпечення. Мова С залишається машинно-незалежною і, отже, забезпечує створення мобільних (таких що переносяться) програм.

Мова ПАСКАЛЬ також відноситься до основних мов для написання прикладного програмного забезпечення. Позитивні властивості цієї мови – розвинені засоби для написання добре структурованих програм, для представлення різних типів структур даних, вдала комбінація простоти й строгості в описі мови.

Мова Basic одержала новий розвиток у версії Visual Basic, завдяки цьому її активно використовують не тільки при

написанні прикладних програм для інтегрування з різноманітними додатками Windows, але й також використовують у САПР.

Мова ЛІСП – це мова високого рівня, орієнтована на обробку списків. Ця мова обрана в якості базової для Autocad тому, що графічні примітиви, блоки, набори примітивів зручно представляти у вигляді списків.

У складі системи Autocad поставляється інтерпретатор мови Автолісп. Він завантажується в оперативну пам'ять разом із завантаженням Autocada й доступний протягом усього сеансу редагування. Таким чином, графічний редактор Autocad і інтерпретатор Автоліспа являють собою єдину систему. Будь-яка функція Автоліспа може бути викликана із графічного редактора, й будь-яка команда редактора може бути використана в програмі на Автоліспі.

Подальшим кроком у створенні мов є мови користувача, у яких ще глибше розвинені ідеї мов високого рівня, для того, щоб ще в більшій мірі орієнтувати їх на певну проблему (предметну область). Швидкодія й гнучкість таких програм невелика. Але при цьому зменшується трудомісткість програмування.

У цей час у зв'язку з бурхливим розвитком мережних технологій у якості однієї з основних мов у САПР використовують мову Java. Перевага цієї мови полягає в тому, що «одного разу написана програма виконується скрізь», уможливує обмін додатками й інженерними моделями між додатками, платформами й операційними системами через Internet. Іншими словами, Java-додаток не потрібно перекомпілювати для різних операційних систем. Крім того, завдяки Java розроблювачі зможуть використовувати стандартні інструменти розробки, а також інтегрувати інженерні додатки з іншими Java-додатками в області корпоративних інформаційних технологій.

Також у цей час спостерігається перехід від використання універсальних мов програмування типу С, Паскаля і т.п., що довели свої можливості при розв'язку математичних завдань, до спеціальних об'єктно-орієнтованих мов. При цьому форма представлення знань у таких мовах, максимально приближена до традиційної мови в прикладній області. Тому запис і розв'язок

завдань на таких мовах вже доступний не тільки програмістові, але й фахівцеві прикладної області, здатному працювати із засобами обчислювальної техніки.

6.2 Мови проектування

Мови проектування – це мови, призначені для опису інформації про об’єкти й завдання проектування. Більшість цих мов відноситься до засобів користувача САПР.

Серед мов проектування виділяють мови вхідні, вихідні, керування, проміжні й внутрішні, командні.

Вхідні мови служать для завдання вихідної інформації про об’єкти й завдання проектування, містять у собі *мови опису об’єктів* і *мови опису завдань*. Перші служать для опису властивостей проєктованих об’єктів, а другі – для опису завдань на виконання проєктних операцій і процедур.

Мови опису об’єктів, у свою чергу діляться на мови схемні, графічні й моделювання. Ці мови використовуються для опису вихідної інформації, представлені у вигляді, відповідно, деякої схеми, конструкторського креслення, алгоритму функціонування.

Схемні мови широко застосовують при описі принципів гідравлічних, пневматичних схем при проектуванні пневмогідравлічного встаткування, принципів електричних схем у підсистемах проектування електронних пристроїв, функціональних схем – у підсистемах функціонально-логічного проектування ЕОМ.

Графічні мови – використовують у підсистемах геометричного моделювання й машинної графіки. *Мови моделювання* розвинені в підсистемах імітаційного моделювання.

Вихідні мови використовуються для вираження результатів виконання проєктних процедур на ЕОМ.

Мови керування служать для представлення керуючої інформації для програмно-керованого виконавчого устаткування, наприклад, пристроїв документування й технологічних автоматів.

Проміжні й внутрішні мови призначені для представлення інформації на певних стадіях її переробки в ЕОМ. Перевага цих мов у тому, що на відміну від вхідних мов, що характеризуються більшою різноманітністю, вузькою проблемною орієнтацією й мінливістю при адаптації САПР до мінливих умов, вони є

уніфікованими й більш універсальними.

Користувач складе опис вхідною мовою, цей опис за допомогою спеціальної транслюючої програми, *називаної конвертором*, переводиться на проміжну мову. Далі працює основний транслятор, що переводить опис завдання із проміжної мови в об'єктну робочу програму. Для включення в систему нової вхідної мови досить розробити тільки конвертор із цієї мови на проміжну мову.

6.3 Командна мова

Командні мови (директивні)- це спеціальні штучні мови, які забезпечують однозначне для ЕОМ введення команд. Ця мова складається зі словника (запасу слів) і граматики. Словниковий запас складений або із природньої мови (німецької, англійської, російської та ін.), або зі скорочень (звичайно із символів або спеціальних знаків).

Приклад:

- а) повні слова: ВИКОНАТИ ПРЯМУ МІЖ ТОЧКАМИ;
- б) скорочення: У П М Т.

Форма (а) легко засвоюється, форма (б) має малий обсяг використання. Більш важливою, ніж словниковий запас, є граматика мови, яка встановлює порядок проходження командних слів і знаків у реченні.

Командні мови мають наступні недоліки: введення пов'язане з безліччю натискань на клавіші; не виключена ймовірність друкарських помилок (помилкових натискань); комбінаційні можливості язових елементів, пов'язані з витратою часу на їхнє вивчення, часто забуваються через відносно рідке застосування й залишаються нереалізованими.

Для усунення перерахованих недоліків у САПР до командних мов ухвалюється ряд додаткових заходів, пов'язаних зі збільшенням обсягу обробки, наприклад:

- допускаються скорочення слів у команді;
- допоміжна функція (наприклад, знак питання вказує (підказує) комбінаційні можливості);
- опис команди, який у готовому виді зберігається в пам'яті ЕОМ, виводиться на екран і являє собою необхідні пояснення про можливості застосування.

6.4 Меню й шаблони

Меню й шаблони є різновидом командної мови. Дані мови ставляться до найпоширеніших способів діалогової взаємодії із прикладними програмами САПР. За допомогою «меню» користувач управляє виконанням проектної процедури, вибираючи необхідну функцію з перерахованих в «меню».

Розрізняють два типи меню: динамічне, яке по своїй структурі наочним образом веде користувача до команди, і планшетне, яке в більшості випадків являє собою доповнення до вхідної мови або до динамічного меню.

При використанні динамічного меню САПР представляє на екрані дисплея набір можливостей (саме меню). Деякі елементи меню можуть бути виконані у вигляді піктограм. Після вибору однієї з можливостей зображена сторінка зникає з екрана й на її місці з'являється відповідне підменю. Знову здійснюється вибір і так триває доти, поки команда не заповниться всіма даними й не стане здійсненою (рис. 6.1).

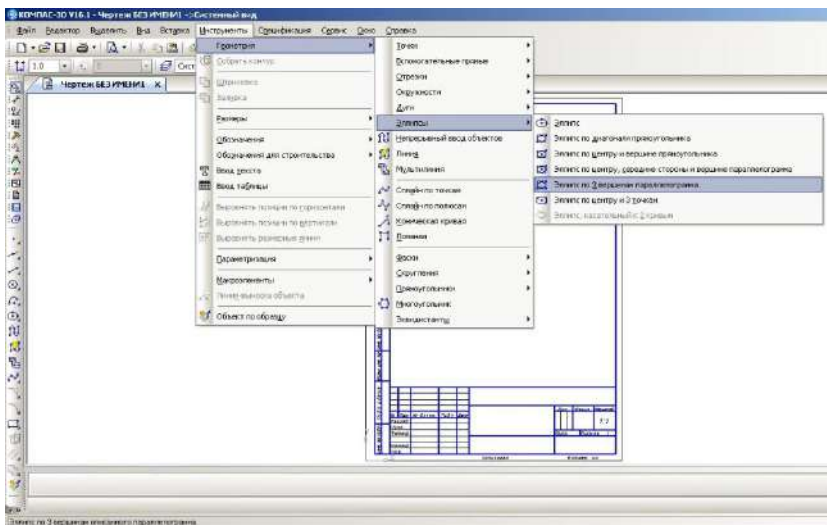


Рисунок 6.1 – Організація креслярсько-графічного середовища за допомогою динамічного меню, на прикладі системи Компас

Планшетне меню дозволяє виконувати введення цифр, слів

або цілих команд допомогою електронного олівця з полів планшета. Планшет розділений на окремі поля, які можуть заповнюватися необхідними складовими частинами вхідної мови, цифрами або відповідно словами динамічного меню.

При створенні креслення елементи типу вирізів, пазів, генеровані в системі, можуть бути представлені в слайдовому меню.

Шаблоном називається спеціально організований кадр зображення, виведеного на екран дисплея, що містить тексти запитів до користувача й спеціальні поля й пояснювальні написи до них, призначені для занесення туди відповідей користувача у вигляді текстів або чисел.

Організація взаємодії тільки з використанням «меню» і «шаблонів» не має достатню гнучкість, тому даний спосіб взаємодії застосовується, як правило, разом з командними мовами. На рис. 6.2 наведений приклад організації інтерфейсу й керування процесом креслення за допомогою динамічного меню. Поряд з меню в цій графічній системі активно застосовується й командна мова, для цього внизу панелі є командний рядок.



Рисунок 6.2 – Використання шаблону для вибору параметрів підшипника

Технічне забезпечення САПР. Загальний устрій і основні

характеристики ЕОМ.

6.5 Основні технічні параметри ЕОМ

До основних технічних параметрів ЕОМ відносять тактову частоту процесора, розрядність машинного слова, продуктивність, ємність оперативного запам'ятовувального пристрою (ОЗП), ємність накопичувача на жорсткому диску (вінчестера), ємність відеопам'яті, надійність функціонування та ін.

Продуктивність – один з найважливіших показників ЕОМ, вимірюваний кількістю операцій, виконуваних за одиницю часу (звичайно операцій у секунду). Цей показник для різних типів ЕОМ коливається від декількох сотень до сотень мільйонів операцій у секунду.

Продуктивність залежить не тільки від властивостей самої ЕОМ (тактової частоти, ємності відеопам'яті, наявності Кеш пам'яті, типу шини, типу ОЗП), але й від особливостей оброблюваної інформації (розрядності оброблюваних слів), форми представлення чисел – із плаваючою або фіксованою точкою, роботи із графічною інформацією, частоти повторення різних операцій у загальному потоці виконуваних програм та ін. Тому визначення продуктивності здійснюється для деяких тестів наборів завдань.

Значення продуктивності ЕОМ, що приводяться в різній довідковій літературі, можуть використовуватися тільки для орієнтовної оцінки реальної продуктивності при розв'язку конкретних завдань автоматизованого проектування.

Усі апаратні засоби ЕОМ діляться на групи пристроїв: центральні й периферійні (рис. 6.3). До *центрального пристроїв*, що здійснюють безпосередньо обробку даних, відносять центральний процесор, оперативний запам'ятовувальний пристрій і процесор введення-виводу (ПВВ).

До *периферійних пристроїв* відносять пристрої, що виконують функції введення, виводу, підготовки даних і зберігання великих обсягів інформації. Загальним для всіх периферійних пристроїв (ПП) є те, що вони перетворюють дані з однієї форми представлення в іншу, не змінюючи їх змісту.

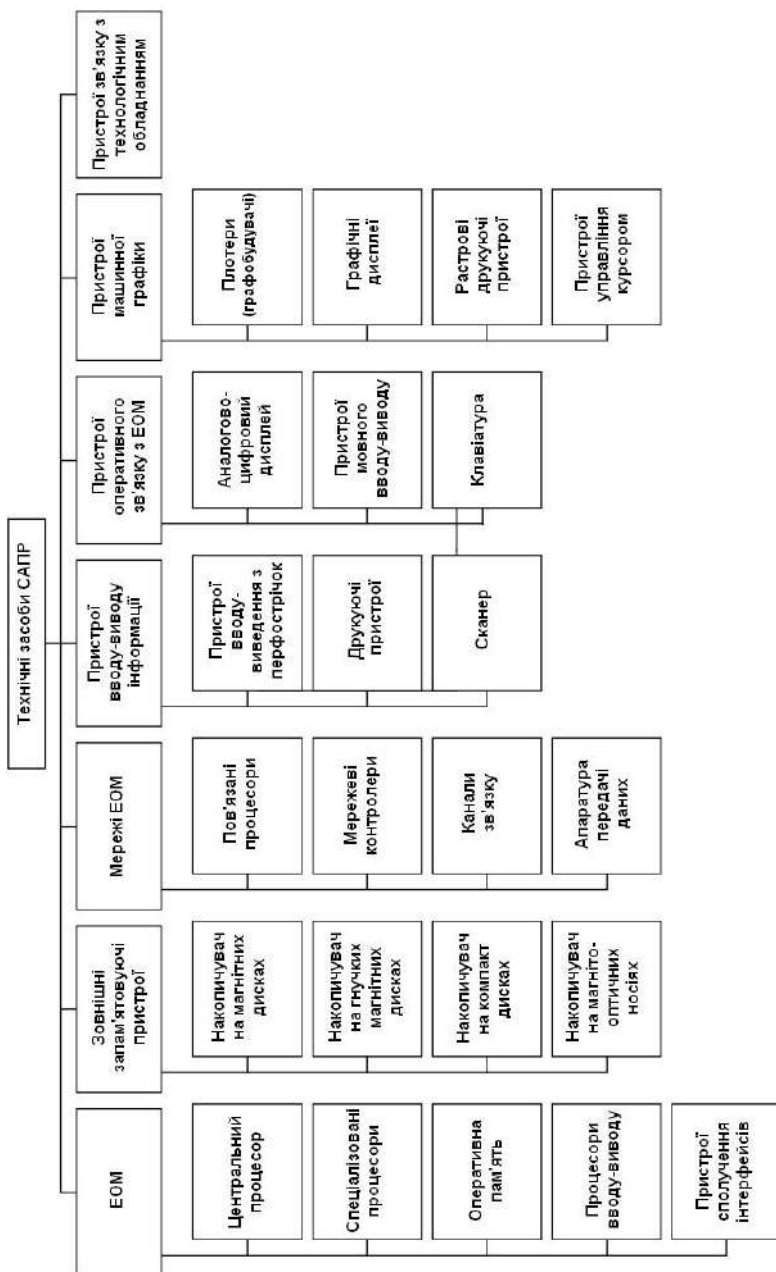


Рисунок 6.3 – Состав технічних засобів САПР

Зв'язок і керування периферійними пристроями здійснюється за допомогою спеціальних програм драйверів. *Драйвер* – це програма, призначена для обслуговування периферійних пристроїв, звичайно завантажується в оперативну пам'ять при запуску комп'ютера.

Центральний процесор (ЦП) дешифрує і виконує команди програми, взаємодіє із процесором введення-виводу, ініціюючи й контролюючи його роботу, сприймає й обробляє сигнали, що надходять від різних пристроїв ЕОМ і ПП (запити переривання).

Функціонування процесора – це виконання послідовності команд, обумовлене програмою. Центральний процесор призначений для перетворення інформації відповідно до виконуваної програми, керування обчислювальним процесом і пристроями, що працюють разом із процесором.

Оперативний запам'ятовувальний пристрій виконує функції зберігання, приймання й видачі даних і програм. Для роботи програми й обробки інформації, що зберігається в зовнішній пам'яті, вони попередньо пересилаються в оперативну пам'ять. Великий вплив на продуктивність ЕОМ виявляють також характеристика й структура підсистеми пам'яті, реалізованою сукупністю запам'ятовувальних пристроїв.

У складі ЕОМ використовується одночасно кілька типів ЗП (кілька типів пам'яті), що відрізняються принципом дії, характеристиками й призначенням. Залежно від реалізованих у пам'яті операцій обігу розрізняють: а) пам'ять із довільним обігом (можливі зчитування й запис даних на згадку); б) пам'ять тільки для зчитування інформації («постійна» або «однобічна» пам'ять). Ці типи пам'яті відповідають термінам RAM (*random — access memory* — пам'ять із довільним обігом) і ROM (*read — only memory* — пам'ять тільки для зчитування).

Основними операціями в пам'яті в загальному випадку є занесення інформації на згадку — *запис* і вибірка інформації з пам'яті — *зчитування*. Обидві ці операції називаються *звертанням до пам'яті*.

Кеш-пам'ять – це статичне ОЗП зберігає дані, які найбільше часто запитуються мікропроцесором (МП). Завдяки цьому скорочується число звернень МП до більш повільної оперативної пам'яті, що приводить до підвищення продуктивності системи в

цілому.

Процесори введення-виводу (канали) призначені для керування обміном інформацією між ОЗП й ПП без участі центрального процесора, узгодження швидкості роботи ПП й ОЗП, уніфікації програмування введення-виводу й забезпечення можливості підключення нових ПП. З каналами введення-виводу зв'язане поняття *інтерфейсу* – сукупності устаткування, за допомогою якого здійснюється сполучення каналів введення-виводу із пристроями керування ПП, а також уніфікованих сигналів і алгоритмів, що визначають порядок передачі даних між каналом і ПУ.

Пристрої виводу дозволяють представити результати роботи машини у формі, зручній для подальшого використання: у вигляді таблиць, графіків, зображень на екранах, а також на носіях, придатних для наступного введення в ЕОМ.

Периферійні пристрої, використовувані в САПР, за обсягом устаткування й вартості в цей час перевищують обсяг і вартість електронних вузлів центрального процесора, тому іноді їх включають у локальну мережу для колективного використання.

У цей час у САПР використовують два типи платформ ЕОМ – це робочі станції, що працюють звичайно під керуванням операційної системи UNIX і персональні комп'ютери (PC – платформа), що використовують Windows. Перші мають високу продуктивність і графічні можливості. Перевага робочих станцій проявляється при розв'язку дуже складних завдань у реальному масштабі часу за рахунок їх великої продуктивності. Їхнім недоліком є більша вартість і відносно мала кількість додаткових програмних продуктів для робочих станцій. Донедавна для САПР високого й середнього рівня застосовувалися тільки робочі станції. У цей час можливості персональних комп'ютерів значно зросли, тому вони витісняють робочі станції в системах середнього рівня.

6.6 Периферійні пристрої ЕОМ

Зовнішні запам'ятовувальні пристрої.

У САПР інформація зберігається на різних носіях. Під носієм інформації звичайно розуміють фізичне середовище, використовуване для реєстрації, накопичення й зберігання

інформації. У якості носіїв використовуються різні матеріали.

Залежно від можливостей використання в ЕОМ і системах обробки даних носії інформації можна підрозділити на дві групи:

- носії інформації, придатні для використання тільки людиною. Цю групу утворюють різні документи, до них ставляться, у першу чергу, паперові носії інформації. Характерною рисою таких носіїв інформації є їхня велика різноманітність. Можливість безпосереднього використання в ЕОМ можлива тільки після сканування й перетворення цієї інформації в «електронну форму».
- носії інформації, придатні для використання тільки в ЕОМ. Цю групу утворюють носії інформації — магнітні стрічки, магнітні диски й барабани, оптичні диски і т.п. Такі носії зручні для використання в різних машинах і системах обробки даних. Для забезпечення можливості сприйняття їх людиною використовують додаткові пристрої перетворення даних у цифрову, алфавітно-цифрову й графічну форми.

Зовнішні запам'ятовувальні пристрої дозволяють збільшувати ємність пам'яті ЕОМ до десятків і сотень Гігабайт, що необхідно для САПР, які оперують великими обсягами довідкової й проектної інформації. Найбільш швидкодіючими ВЗУ є накопичувачі на жорстких магнітних дисках. Накопичувачі на магнітних стрічках у сучасних ЕОМ використовуються вкрай рідко.

6.7 Пристрої введення-виводу інформації

Пристрої введення інформації перетворюють інформацію, що вводиться, задану в тій або іншій формі (тексти, графічні зображення і т.п.), в електричні сигнали, що надходять через канали в ОЗП.

Пристрої виводу інформації призначені для перетворення інформації, виведеної ЕОМ, у форму, придатну для сприйняття людиною. Виведена інформація може бути представлена у алфавітно-цифровій формі (тексти на папері або екрані дисплея), графічній (схеми, креслення, графіки на папері або екрані дисплея), звуковій.

Клавіатура. Передача інформації від людини до ЕОМ у

більшості випадків здійснюється за допомогою клавіатури. У принципі за допомогою клавіатури можна ввести в машину всю необхідну інформацію. Однак на практиці так не роблять через те, що швидкість роботи на клавіатурі занадто низька. Тому клавіатуру використовують тільки в тих випадках, коли виникає необхідність перервати програму обчислень, проконтролювати хід розв'язку завдання, виявити й виправити помилки в інших непередбачених випадках.

Пристрій введення типу «миша». В ЕОМ з пакетами програм машинної графіки переміщення (курсору) і редагування інформації на екрані можуть здійснюватися за допомогою пристрою типу «миша». За допомогою цього пристрою механічні переміщення перетворюються в електричні сигнали, сприймані ЕОМ.

Світлове перо. Світлове перо використовується в графічних системах. Світлове перо має відносну простоту застосування (особливо при кресленні ліній), що підвищує цінність його використання в більшості графічних пристроїв.

Друкувальні пристрої (ДП) – є основним засобом документованого виводу інформації. По способу одержання відбитка знака на документі ДП класифікують на друкувальні пристрої ударної й безударної дії. По методу реєстрації інформації ДП безударної дії розділяють на термічні, електроерозійні, електроіскрові, струминні, електрофотографічні та ін.

Знакосинтезуючі пристрої. У них зображення знаків на поверхні носія формується за допомогою різних наборів індивідуально керованих друкуючих голок або стрижнів. За допомогою таких елементів стає можливим одержати на носії синтезоване з окремих точок, відрізків прямих і кривих ліній зображення будь-якого знаку.

Залежно від типу механізм друку має кілька ударних елементів, які дозволяють друкувати одночасно кілька точок. Механізм удару в таких пристроях забезпечує переміщення друкуючого елемента в напрямку друку. У якості ударних елементів використовуються тонкі (діаметром 0,3 мм) рухливі голки (рис. 6.4).



- 1 – матриця друкуючої головки; 2- голка; 3- муфта; 4- пружина;
 5- електропривод; 6- електромагніт;
 7- магнітний сердечник; 8- барвна стрічка; 9- папір

Рисунок 6.4 – Конструкція знакосинтезуючого механізму з однорядною головкою

Голки переміщуються у відповідних напрямних за допомогою різних електромеханічних приводів. Для електропривода голок широко використовуються електромагніти з утяжним або поворотним якорем, а також різні магнітоелектричні системи. У більшості існуючих конструкцій розглянутих пристроїв в якості електропривода застосовуються електромагніти з утяжним якорем.

Пір'яні плоттери. Пір'яні плоттери (ПП) є електромеханічними пристроями векторного типу й створюють зображення за допомогою пишучих елементів, узагальнено називаних пір'ям. Пишучі елементи бувають одноразові й багаторазові; кулькові, фіброві, пластикові й інші; із чорнилом на водній або масляній основі. Перо кріпиться в тримачі пишучого вузла, який має одну або два ступені волі переміщення. Існують два типи ПП: рулонні й планшетні. В основному застосовуються рулонні плоттери формату А0 і А1. Плоттер малого формату А3 – звичайно планшетні. На жаль, швидкість виводу інформації в ПП невисока. Низька надійність пишучого вузла. Порівняно високий рівень шуму.

Струминні плоттери. Струминний друк – це процес одержання зображення, при якому елементи зображення створюються крапельками чорнила, що вилітає із сопла зі швидкістю, достатньою, щоб подолати зазор між соплом і

поверхнею, на якій формується зображення.

Друкуючі головки можуть бути кольоровими й мати відповідне число груп сопел. Для створення повнобарвного зображення використовується стандартна для поліграфії кольорна схема СМУК, що використовує чотири базові кольори: Cyan – блакитний, Magenta – пурпурний, Yellow – жовтий і Key – ведучий (чорний).

Складні кольори утворюються змішанням основних, відтінки різних кольорів можуть бути отримані шляхом згущення або розрідження крапок відповідного кольору у фрагменті зображення (аналогічний спосіб використовується для одержання різних відтінків сірого кольору при виводі монохромних зображень).

Струминні плоттери мають невисоку ціну, широку кольірну палітру, високу продуктивність, мають можливість роботи з растровими й векторними даними. Недоліком струминних плоттерів є можливість вицвітання зображення (для запобігання потрібен папір зі спеціальним покриттям).

Лазерні плоттери. Лазерні плоттери базуються на електрофотографічній технології, в основу якої покладені фізичні процеси внутрішнього фотоефекта у світлочутливих напівпровідникових шарах матеріалів і силова дія електростатичного поля. Лазерні плоттери мають високу швидкодію (аркуш формату А1 виводиться менш ніж за півхвилини). Для підвищення ефективності такі плоттери найчастіше використовуються як мережні пристрої. Їхня перевага в тому, що вони можуть працювати на звичайному папері, що скорочує питомі витрати при експлуатації. До недоліків лазерних плоттерів можна віднести їх відносно високу вартість і монохромне зображення.

Сканери.

До впровадження САПР на багатьох підприємствах була накопичена велика кількість проектів виробів. Як правило, компонент попередніх розробок використовують у нових виробках. Але вся необхідна для САПР інформація існувала тільки на папері – у вигляді архівів креслень і томів технічної документації. Можна заново відтворити в електронній формі ті креслення, які вже є, але на папері. Такий підхід приведе до

необхідності дублювання одного разу вже виконаної роботи, а це знижує ефективність праці.

Більш кращим варіантом розв'язку цього завдання є ланцюжок «креслення – сканер – система векторизації – електронне креслення». У такий же спосіб можна перетворити всі текстові документи.

Сканування – перетворення оригіналів текстових і графічних документів у цифрові дані з метою їх використання на комп'ютерах, тобто одержання електронної версії документа.

Метою сканування документів може бути:

- збереження файлу зображення в стані архівної готовності на магнітному або оптичному диску;
- редагування-чищення зображення, додавання нового матеріалу;
- тиражування твердої копії растрового файлу зображення.

Після сканування документ має растрове зображення, тобто як би «фотографічне» зображення, у вигляді набору точок, що не мають між собою ніяких формальних зв'язків. Тільки, дивлячись на екран, можна визначити, що даний набір точок представляє лінію, окружність тощо.

Зберігання електронної копії документа може здійснюватися безпосередньо в растровому форматі. Графічні документи в растровій формі можуть бути конвертовані за допомогою програмного забезпечення, що розпізнає, у векторну форму, текстові документи – у формат електронного тексту.

У САПР в основному використовують два типи сканерів: рулонні й планшетні. Скануючим елементом у більшості сканерів є прилад із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) (рис. 6.5). Лінійні сканери забезпечують взаємне переміщення носія або лінійного скануючого елемента (ПЗЗ) уздовж однієї осі. Послідовно, смужка за смужкою, вихідне зображення фокусується на лінійці ПЗЗ. Для одержання кольорового зображення використовують три різні скануючі елементи з фільтром для кожного базового кольору – червоного, зеленого, синього.

У рулонних сканерах ПЗЗ нерухливі, переміщається папір. Фокусуються відбиті промені. Рулонні сканери дозволяють працювати із кресленнями великого формату (A1 або A0), як чорно-білих, так і кольорових.

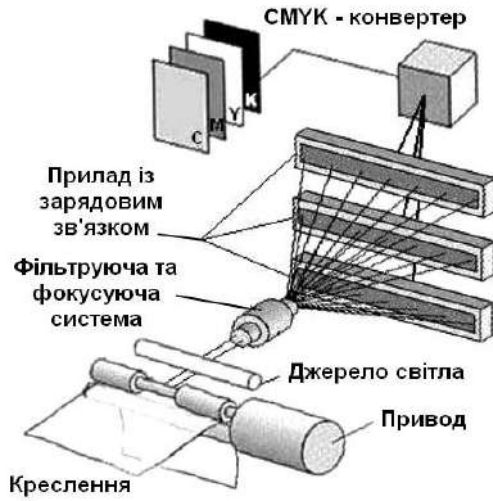


Рисунок 6.5 – Принцип роботи рулонного сканера

Схема планшетного сканера зображена на рис 6.6. У сканері аркуш нерухливий і розташовується лицьовою поверхнею усередину. У цьому випадку переміщується робоча головка із ПЗС, на якому фокусуються відбиті промені. Така конструкція типова для більшості настільних сканерів формату А3 і А4.



Рисунок 6.6 – Планшетний сканер

6.8 Пристрої оперативної взаємодії людини з ЕОМ

Більша частина часу роботи інженера в САПР проходить у режимі діалогу з ЕОМ, тобто САПР відноситься до комплексних систем «людина – машина», у яких переробка інформації здійснюється людиною й технічними засобами спільно. Тому при створенні технічних засобів САПР слід урахувувати вимоги, пропонувані до таких систем з позицій психофізіологічних особливостей людини.

У процесі взаємодії людини з машиною можна виділити два напрямки передачі інформації: 1) від машини до людини; 2) від людини до машини (керуючий вплив).

Людина може сприймати інформацію різними шляхами, причому найбільший обсяг інформації надходить по зоровому (80 %) і слуховому (10%) каналам. Людина управляє технічними засобами за допомогою мускульних рухів і мови.

Найбільше поширення в САПР у цей час дістали засоби візуального відображення інформації (дисплеї) і ручного керування технічними засобами (клавіатури, планшети, світлове перо й т.п.).

Дисплеї. Їх можна класифікувати по різних ознаках. У САПР знайшли застосування індивідуальні алфавітно-цифрові й графічні дисплеї на електронно-променевих трубках або пласкі на рідких кристалах. Якість відображення інформації – найважливіша комплексна ергономічна характеристика дисплея. Якість відображення інформації визначається розмірами елементів зображення, їх яскравістю й контрастністю, відсутністю мерехтіння зображення і т.п.

Питання для самоперевірки

1. Що таке лінгвістичне забезпечення САПР?
2. Для чого призначенні мови програмування?
3. Яке призначення мов проектування?
4. Що таке командні мови?
5. Навіщо потрібні шаблони в діалоговій взаємодії програм САПР?
6. Що відноситься до технічного забезпечення САПР?
7. Коротко розкажіть про состав технічних засобів САПР.

8. Перелічіть основні периферійні пристрої ЕОМ.
9. Назвіть пристрої вводу-виводу інформації з ЕОМ.
10. Як класифікуються друкувальні пристрої?
11. Навіщо потрібні сканери?

7 ІНТЕГРАЦІЯ CAD І SAM СИСТЕМ

Спроектowana деталь втілюється в готовий продукт засобами виробництва. Автоматизація виробництва забезпечується відповідним програмним забезпеченням (SAM software). Таких програмних продуктів існує досить багато. До складу типового пакета SAM входить система автоматизованої технологічної підготовки виробництва (computer-aided process planning – CAPP), система числового управління (NC software), що дозволяє виготовляти деталь за допомогою верстатів з ЧПУ, програми контролю й програми керування роботами, використовувані, відповідно, на етапах перевірки й складання.

Багато виробників комерційних систем CAD і SAM перебільшують вигоди від їхнього використання. Реальний вигаш від цих систем набагато менше рекламованого через низький ступінь їх інтеграції. Для підвищення продуктивності й забезпечення виживання на глобальних ринках з постійно зростаючою конкуренцією необхідне поліпшення інтеграції. Першочерговим завданням є повна автоматизація технологічної підготовки виробництва, тому що ця фаза зв'язує проектування й виробництво.

Саме підготовка виробництва стала основною перешкодою на шляху до інтеграції CAD і SAM. Основні зусилля дослідників були спрямовані на створення систем автоматизованої підготовки виробництва, які повинні були намагатися забезпечити взаємодію інженерів-проектувальників та інженерів-технологів. Розглянемо загальні питання підготовки виробництва й, конкретно, засоби CAPP. Щоб прояснити значення технологічної підготовки, ми почнемо із розгляду виробничого циклу однієї деталі.

7.1 Виробничий цикл деталі

Усе виробництво може бути поділене на дискретне й безперервне. Під дискретним виробництвом розуміється виготовлення продукту, що проходить через кінцеве число технологічних і складальних операцій. Безперервне виробництво має на увазі виготовлення продукту, що перетерплює безперервні зміни, наприклад у ході хімічних реакцій, у результаті яких заготовка перетворюється в готову деталь.

Ми зосередимо увагу на дискретному виробництві, а конкретніше — на механообробці, яка є типовим методом виготовлення деталей. Головні етапи такого процесу наведені в схемі на рис. 7.1.



Рисунок 7.1 – Головні етапи дискретного виробництва

Коли готовий проект передається у виробничий відділ, інженер-технолог перетворює опис деталей і пристроїв у технологічні інструкції. Ці інструкції докладно описують процеси, необхідні для перетворення неопрацьованих заготовок у готові деталі, а також наступні операції складання цих деталей у кінцевий продукт.

Процедура, таким чином, полягає в зіставленні вимог до деталей і наявних виробничих потужностей. Інженер-технолог повинен інтерпретувати інженерно-технічну документацію, ухвалювати рішення щодо того, як розрізати листи металу й збирати деталі, визначати порядок виконання операцій, вибирати інструмент, верстати й кріплення й вирішувати інші подібні завдання.

Це завдання значно спрощується, якщо в інженера уже є готовий план для аналогічного продукту. Тому схожі деталі звичайно групуються в сімейства, що дозволяє використовувати концепцію групової обробки.

Після завершення фази технологічної підготовки починається реальне виробництво деталі відповідно до інструкцій, підготовлених на попередньому етапі. Якщо для обробки деталі використовуються верстати з ЧПУ, оператор верстата повинен написати відповідну програму. Існує безліч програмних засобів, що дозволяють створити програму для верстата з ЧПУ безпосередньо по базі даних системи автоматизованого проектування. Готові деталі перевіряються відповідно до

розроблених стандартів якості. Минулі перевірку деталі збираються, упаковуються, позначаються й відправляються замовникам.

Таким чином, інтерфейсом між проектуванням і виробництвом виявляється технологічна підготовка. Інтеграція засобів проектування й виробництва не буде завершена доти, поки технологічна підготовка не буде автоматизована.

7.2 Технологічна підготовка виробництва

Технологічна підготовка виробництва (process planning) – полягає у виборі технологічних процесів і їх параметрів, а також устаткування для проведення цих процесів. Завдання полягає в тому, щоб перетворити заготовку в деталь, зображену на технічному кресленні. Альтернативне визначення технологічної підготовки говорить, що під цим терміном мається на увазі підготовка докладних технологічних інструкцій для верстата або збирача агрегату з деталей.

Наприкінці етапу технологічної підготовки виходить план, що описує послідовність технологічних процесів або складальних операцій. План виробництва іноді називається операційною картою, маршрутною картою або зведенням планування операцій.

Крім вибору й упорядкування операцій важливу частину плану становить вибір інструментів і кріплення. Вибір інструмента включає також вибір верстата, на якому цей інструмент буде встановлений. Кріпильні пристрої направляють інструмент або тримають оброблювальну деталь.

План виробництва деталі або агрегату залежить від безлічі факторів. До них відносяться геометрія деталі, необхідна точність і якість поверхні, кількість деталей і використовуваний матеріал.

Наприклад, для виготовлення дуже гладкої поверхні може знадобитися шліфування, тоді як для більш грубої поверхні досить токарської обробки (при тій самій геометрії деталі). Невелику кількість деталей можна виготовити на верстаті, а більші кількості вигідніше штампувати на пресі. Вибір операцій також багато в чому визначається наявними засобами.

7.3 Неавтоматизований підхід

Традиційне планування виробництва завжди виконувалося вручну. Тепер це називається неавтоматизованим підходом. Полягає даний підхід у тому, що досвідчений співробітник, це часто був оператор-верстатник, вивчає креслення деталі й підготовляє інструкції з її виготовлення, тобто план виробництва.

Залежно від цеху, вироблюваний ним план може бути досить складним, а може бути простою сукупністю описів окремих операцій. У досліdnому виробництві, де всі оператори мають високу кваліфікацію й можуть працювати з декількома верстатами, а більшість деталей відносяться до одного типу, технологічний план звичайно стає не більш ніж послідовністю операцій обробки, а всі подробиці виконання цих операцій визначаються операторами самостійно.

Однак якщо деталь повинна бути виготовлена на повністю автоматизованій виробничій лінії, технологічний план буде містити докладні відомості про кожну операцію. Незалежно від складності плану його підготовка дуже сильно залежить від знань планувальника, наявних інструментів, матеріалів, стандартних прийомів і характерних масштабів вартості.

На жаль, ці відомості звичайно документуються недостатньо повно, а найчастіше зберігаються винятково в пам'яті технолога. Якщо пам'ять у нього гарна, він може згадати план виробництва аналогічної деталі й видозмінити його під нову деталь. У деяких компаніях плани класифікуються вручну й зберігаються в робочих журналах.

У процесі розробки планів виробництва нових продуктів інженери-технологи найчастіше діють приблизно однаково.

Типова послідовність етапів планування наведено нижче.

1. Вивчення форми деталі в цілому. Технолог вивчає інженерно-технічну документацію, визначає загальну структуру деталі й потенційні труднощі, які можуть виникнути при її виробництві: чи можна затиснути цю деталь у лещата, чи поміститься вона між губками? чи не виявиться, що вона занадто довга й тонка, та її зігне, коли її затиснуть? І так далі.

2. Визначення оптимальної форми заготовки, якщо вона

не задана в документації. По кресленню планувальник звичайно з легкістю визначає обрис деталі. Це допомагає йому вибрати форму заготовки, з якої дана деталь може бути виготовлена з мінімальним обсягом відходів. Розміри заготовки звичайно на чверть дюйма перевищують розміри готової деталі.

3. Визначення базових поверхонь і конфігурацій. Інженер-технолог визначає мінімальну кількість конфігурацій, необхідних для одержання базових поверхонь механічною обробкою. Потім він записує операції для кожної конфігурації.

4. Визначення елементів деталі. Інженер-технолог виділяє елементи деталі, тобто геометричні форми, які повинні бути вирізані на заготовці, з якої буде зроблена деталь. Форма елементів визначає форму інструментів і траєкторію їх переміщення при обробці заготовки. Характерні елементи (і субелементи), одержувані механічною обробкою, зображені на рис. 7.2 і на рис.7.3 відповідно.

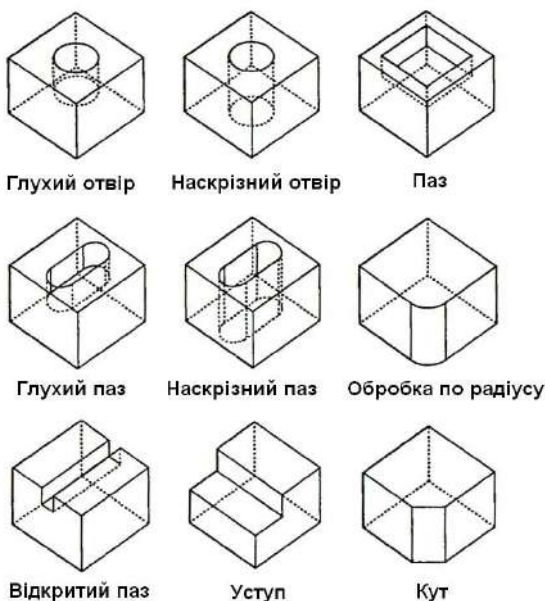


Рисунок 7.2 – Елементи отримані машинною обробкою

5. Угрупування елементів по конфігураціях. Інженер-технолог групує елементи таким чином, що кожна група формується в рамках однієї й тієї ж конфігурації. Деякі деталі можуть бути зроблені в конфігураціях, визначених раніше для базових поверхонь, інші можуть зажадати завдання нових конфігурацій. Потім формується список операцій по виготовленню елементів деталі для кожної конфігурації.

6. Упорядкування операцій. Усередині кожної конфігурації порядок операцій по виробництву відповідних базових поверхонь і елементів визначається взаємозалежностями цих операцій та їх взаємним впливом.

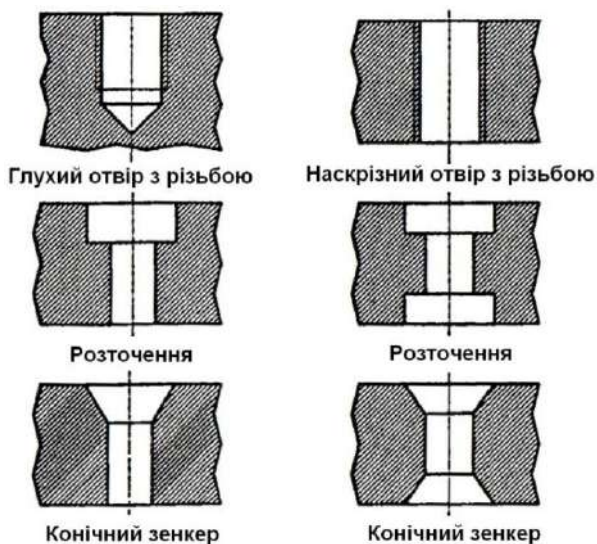


Рисунок 7.3 – Субелементи, одержувані машинною обробкою

7. Вибір інструментів для кожної операції. Технолог намагається по можливості використовувати той самий інструмент для декількох операцій. Йому доводиться враховувати час на зміну інструмента й час на обробку.

8. Вибір або проектування затискачів для кожної конфігурації. Цей етап планування сильно залежить від досвіду технолога, тому що кількість стандартних затискачів і кріпильних пристосувань невелика. Правильний вибір затискачів дуже

важливий для досягнення високої якості продукту.

9. Підсумкова перевірка плану. Інженер-технолог перевіряє здійсненність конкретних конфігурацій, імовірність створення перешкод інструментам кріпильними пристосуваннями і т.п.

10. Уточнення плану виробництва. Технолог додає в план подробиці по виготовленню окремих елементів, вибирає швидкість подачі й обробки, оцінює витрати й час виготовлення і т.п.

11. Підготовка документації. Готовий технологічний план виробництва віддається головному технологіві.

7.4 Модифікований підхід

Модифікований підхід — це один із двох методів, використовуваних для розробки систем автоматизованої технологічної підготовки. Інший підхід називається генеративним (generative approach).

Модифікований підхід (variant approach) називається так тому, що він є модифікацією неавтоматизованого підходу, суть якого полягає в тому, що технолог користується не тільки своєю пам'яттю, але й пам'яттю комп'ютера.

Інакше кажучи, робочий журнал технолога зберігається в комп'ютерному файлі. Типовий технологічний план виробництва подібної деталі може автоматично вийматися з такого файлу після опису аналізованої деталі відповідно до певної системи кодування.

Обраний план виробництва може редагуватися в інтерактивному режимі; у нього вносяться виправлення, відповідні до специфіки конкретної деталі. Таким чином, модифікований підхід вимагає наявності бази даних зі стандартними планами виробництва для кожного сімейства деталей.

Такий план повинен містити всі інструкції, які будуть входити в план виробництва будь-якої деталі з даного сімейства. Деталі класифікуються по сімействах на підставі концепції групової технології.

Згідно із цією концепцією, кожній деталі привласнюється код, що залежить від її елементів, після чого деталі групуються в сімейства відповідно до привласнених кодів.

Модифікований підхід до розробки плану виробництва виражається в наступному. Технологічна підготовка виробництва нової деталі починається з кодування її особливостей, що еквівалентно опису деталі мовою групової технології. Потім деталь може бути віднесена до якого-небудь сімейства на підставі її коду.

Після цього з бази даних виймається стандартний план виробництва для деталей цього сімейства. У цьому плані втримуються загальні інструкції з виробництва будь-яких деталей сімейства, тому може знадобитися його редагування для одержання плану потрібної деталі.

Редагування здійснюється засобами комп'ютерної системи. Часто зміни виявляються незначними, тому що новий план являє собою лише невелику модифікацію стандартного.

Завдяки цьому на етапі підготовки плану заощаджується маса часу, а готові плани виявляються набагато більш послідовними, ніж розроблювальні вручну. Якщо деталь не може бути віднесена до одного з існуючих сімейств, технолог може розробити новий стандартний план виробництва в інтерактивному режимі.

7.5 Генеративний підхід

Генеративний підхід (generative approach) – полягає в тому, що технологічний план виробляється автоматично на підставі технічних вимог до деталі. У технічні вимоги повинні включатися докладні відомості про матеріал, особливості обробки й пропонувані методиках перевірки, а також графічне зображення форми деталі.

На першому етапі розробки плану виробництва нової деталі в генеративному підході технічні вимоги вводяться в комп'ютерну систему. В ідеалі вони повинні зчитуватися безпосередньо з бази даних САПР. Для цього необхідно, щоб автоматизована система технологічної підготовки могла розпізнавати елементи деталі, що вимагають машинної обробки, такі як отвори, пази й вилучення.

Реалізація першого етапу значно спрощується, якщо при моделюванні деталі використовується об'єктно-орієнтований підхід. Однак навіть конструктивні елементи, використовувані в системі об'єктно-орієнтованого моделювання, можуть зажадати перетворення до елементів, які можуть бути виготовлені

машинною обробкою.

Деякі конструктивні елементи однозначно зіставляються технологічному процесу, тоді як перетворення інших являє собою не занадто тривіальну процедуру. Крім того, інформації про елементи, загалом кажучи, недостатньо для технологічної підготовки виробництва.

Наприклад, більшість моделей CAD не містять відомостей про допуски й матеріали, і їх доводиться вводити вручну. Це лише частина причин, що затримують розробку повністю автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва дотепер.

Замість цього технічні вимоги до деталі часто кодуються вручну. Схема кодування повинна визначати всі геометричні елементи і їх параметри, зокрема положення, розміри й допуски. Закодовані дані супроводжуються інформацією в текстовому форматі. Нарешті, система повинна мати відомості про форму заготовки.

На другому етапі закодовані дані й текстова інформація перетворюються в докладний технологічний план виробництва деталі. На цьому етапі визначається оптимальна послідовність операцій і умови їх виконання.

До умов відносяться використовувані інструменти, кріплення, вимірвальні прилади, затискачі, схеми подачі й швидкості обробки. Для побудови настільки докладного плану виробництва деталі довільної складності потрібна велика база даних і складна логічна система. Тому на сьогоднішній день автоматизований підхід обмежується окремими класами деталей з відносно обмеженим набором елементів.

7.6 Автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва

Більшість існуючих систем автоматизованої технологічної підготовки виробництва (наприклад, CAM-I CAPP, MIPLAN, MITURN, MIAPP, ACUDATA/UNIVATION, CINTURN і COMCAPPV) засновані на альтернативному підході. Однак у літературі вже з'являються згадування про системи, засновані на генеративному підході (CPPP, AUTAP, APPAS, GENPLAN, CAR, Metcapp, ICEM-PART). Докладний опис та порівняння таких

систем приводиться в роботі Кунву Лі [2].

7.7 Групова технологія

Об'єднання подібних деталей у сімейство в рамках правильної системи кодування зовсім необхідно для автоматизованої технологічної підготовки виробництва. Концепція групової технології – це те, на чому заснована ця класифікація. Визначення групової технології (group technology — GT) може бути записане в такий спосіб.

Групова технологія — це усвідомлення того, що багато завдань в основі своєї подібні один одному, а угруповання завдань дозволяє знайти загальний розв'язок до них, заощадивши час і зусилля.

Це всеосяжне визначення можна конкретизувати, визначивши область його застосування. Суть групової технології полягає в створенні бази даних подібних деталей, проєктів і технологій і використанні цієї бази для впровадження загальної процедури проєктування й виробництва таких деталей. Деталі поєднуються в сімейства по конструктивній подоби (наприклад, по схожості форм) і по технологічній подоби (наприклад, по необхідних операціях, таким як фрезерування або свердління).

Групова технологія широко використовується для спрощення просування продуктів на виробництві. Виділення деталей із загальними технологічними параметрами дозволяє розробити ефективні плани виробництва, виділяючи для кожного сімейства одне гніздо плану. У такий спосіб спрощуються технологічні маршрути, скорочуються тимчасові витрати на передачу матеріалів між верстатами й тривалості виробничих циклів.

Більше того, оскільки подібні деталі проводяться на тих самих верстатах, часто скорочуються й тимчасові витрати на настроювання верстатів. Може використовуватися спеціальне технологічне оснащення. Коди групової технології використовуються для вибору існуючих планів в автоматизованій технологічній підготовці виробництва.

Інженерам-технологам не доводиться розробляти плани з нуля для кожної нової деталі — замість цього вони можуть звертатися до планів виробництва аналогічних деталей і змінювати їх відповідно до технічних вимог до нових деталей.

Концепція групової технології дає переваги й на етапі проектування. З її допомогою часто вдається усунути надлишкову різноманітність деталей, надавши конструкторам можливість здійснювати пошук по сімействах деталей.

Часто конструктори просто не знають про наявність аналогічних проектів серед поточних розробок. Звичайно це буває пов'язано з тим, що система нумерації деталей не дає їм достатньої інформації.

У таких випадках виникає тенденція до дублювання деталей з незначними змінами, що не мають відносини до призначення деталей. Надлишок деталей приводить до швидкого збільшення кількості паперів, а також до витрат заготовок.

7.8 Системи керування даними про продукти

Цикл розробки продукту містить у собі не тільки проектування й виробництво, але й аналіз, контроль якості, упакування, доставку й маркетинг. Ціль комп'ютеризації полягає в тому, щоб інтегрувати всі ці види діяльності за допомогою загальної бази даних, тому існує потреба в механізмі передачі інформації між ними.

Якщо розглядати ситуацію в динаміці, маркетингові концепції повинні передаватися у відділ планування продуктів і в групу проектування. Група проектування взаємодіє з виробничим відділом і групою підтримки. Відомості про виявлені проблеми вертаються у відділи проектування й виробництва.

Відомості про продажі й проекти передаються постачальникам і партнерам. Дані про витрати обробляє бухгалтерія. Усі ці види діяльності тісно зв'язані один з одним, тому зміни в змісті або стані проекту повинні бути доступні всім учасникам щоб уникнути дорогих помилок. Обсяг технічних даних у міру розробки надзвичайно зростає, через що перегляд і пошук по базі даних стають украй неефективними.

На щастя, існують програмні пакети, названі системами керування даними про продукти (product data management — PDM). Системи PDM спрощують передачу даних між відділами. Використання такої системи поліпшує взаємодію й підвищує ефективність керування проектами.

Системи PDM були розроблені для керування величезними

обсягами електронних даних, створюваних системами CAD, CAM і CAE. Інженери страждали від надлишку даних і витрачали занадто багато часу на пошук інформації.

Важливість PDM особливо зросла, коли деталі стали розроблятися в різних CAD. Власна система керування, вбудована в програму CAD, могла досить ефективно працювати із кресленнями й моделями, створеними в цій конкретній програмі, проте найчастіше виявлялася нездатною взаємодіяти з іншими програмами CAD або продуктами третіх фірм. Системи PDM, зв'язані з безліччю різних пакетів додатків, краще справляються з керуванням даними в масштабі підприємства. На додаток PDM полегшують доступ до допоміжних даних: номерам деталей, технічним вимогам, результатам тестів і аналізів.

Потім можливості PDM були розширені. До них додалася підтримка проектування шляхом автоматизованої маршрутизації документації на етапі коректування. Безпаперовий документообіг скоротив тривалість циклу розробки продукту.

З'явилася можливість виділяти важливі дані й відслідковувати історію кожного продукту і його компонентів разом з усіма даними по різних версіях і модифікаціям продуктів. Незабаром область застосування PDM була ще більш розширена, охопивши не тільки проектування й розробку, але й відділи продажів, виробництва й підтримки.

Останнім часом системи PDM стали ще більш популярні завдяки розвитку Інтернету, Web і інтрамереж. Загалом кажучи, практично всі виробники PDM рекламують підтримку роботи з Web, а веб-технології діють як каталізатор впровадження PDM у нові корпорації.

Концепція Web стала популярною завдяки універсальності, дешевині й доступності, а також апаратній незалежності. Самою більшою перешкодою на шляху до широкого визнання PDM були труднощі з доступом у кінцевих користувачів.

Web вирішує цю проблему, надаючи простий і універсальний інтерфейс користувача при дуже низьких витратах на підтримку. Завдяки підтримці веб-технологій PDM стали відігравати ключову роль у забезпеченні доступу до актуальної інформації безлічі груп.

PDM забезпечує погодженість даних і управляє

документообігом, гарантуючи доставку інформації адресатові в самий підходящий для прийняття рішень час.

Питання для самоперевірки

1. З яких етапів складається виробничий цикл деталі?
2. В чому полягає технологічна підготовка виробництва?
3. Що таке неавтоматизований підхід у плануванні виробництва?
4. Розкажіть типову послідовність етапів планування виробництва.
5. В чому полягає модифікований підхід планування виробництва?
6. Що таке генеративний підхід планування виробництва?
7. Назвіть основні автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва.
8. В чому полягає сутність групової технології?
9. Розкажіть про системи керування циклом виробництва продукції.
10. Що таке PDM-система?
11. Навіщо потрібні технологічні інструкції?
12. Що таке САМ технологія?
13. Від чого залежить план виробництва деталі?
14. Що в себе включає типовий технологічний план виробництва?

8 ЧИСЛОВЕ ПРОГРАМНЕ УПРАВЛІННЯ

Для інтеграції проектування й виробництва без втручання людини необхідна комп'ютеризація технологічної підготовки. Комп'ютер повинен здійснювати вибір верстатів для виробництва деталей, вибір оптимальної послідовності операцій на цих верстатах, оцінку часу на настроювання й виготовлення, планування виробництва й визначення вимог до устаткування й вихідних матеріалів. Однак однієї автоматизованої технологічної підготовки недостатньо для автоматизації виробництва, якщо комп'ютер не зможе управляти самими верстатами без участі людини. Це реалізується додаванням числового програмного управління до звичайних верстатних систем.

Числовим програмним управлінням (numerical control – NC) називають використання закодованої в числовому виді інформації при автоматичному керуванні позиціонуванням устаткування. Покрокова програма виготовлення деталі зберігається в пам'яті комп'ютера.

Ця програма зчитується системою керування верстата, у результаті чого деталь виготовляється автоматично без участі людини. Числове управління може використовуватися для завдання положення різця або руху деталі щодо обертового диска, а також для заміни різців. Розміщення електронних компонентів і закріплення їх на друкованій платі також може управлятися чисельно.

8.1 Історичний зріз. Виникнення ЧПУ

Наприкінці 40-х рр. минулого століття американець по імені Джон Парсонс придумав метод виготовлення гладких профілів (таких, наприклад, як профілі перетинів крил літаків). Його метод полягав у записі положень центрів великої кількості отворів, що апроксимують потрібну форму, на перфокарти. Перфокарти подавалися у верстат, і записані на них дані використовувалися для керування різцем. Отриманий з'єднанням безлічі отворів профіль згладжувався до бажаної кривої. До цього винаходу вся металорізальна промисловість США не могла задовольнити потреби навіть одних ВПС США. Військові були так обрадувані ідеєю Парсонса, що уклали контракт із його корпорацією на

подальшу розробку керуючих систем.

В 1951 р. корпорація Парсонса уклала субконтракт із лабораторією сервомеханізмів Масачусетського Технологічного інституту (Massachusetts Institute of Technology – MIT).

В 1952 р. модифікований фрезерувальний верстат Cincinnati Hydrotel із трьома ступенями свободи був продемонстрований замовникові, і з тих пір у побут увійшов новий термін — числове програмне управління. Визначення ЧПУ, запропоноване асоціацією електронної промисловості (EIA), звучить так: у системі із числовим програмним управлінням дії повинні управлятися безпосереднім введенням числових даних. Система повинна автоматично інтерпретувати хоча б частину цих даних.

Числові дані, необхідні для виготовлення деталі, надаються верстату у формі програми, називаною *програмою обробки деталей (part program)*. Ця програма являє собою набір операторів, які можуть інтерпретуватися керуючою системою верстата й перетворюватися в сигнали, що переміщують шпинделі й приводи. Програма містить геометричну інформацію про деталь і дані про переміщення різця стосовно заготовки. У програмі також вказуються швидкість різання, швидкість подачі й додаткові параметри, такі як стан системи охолодження й напрямок шпинделя. Готова програма повинна давати результат, що відповідає допускам і вимогам до шорсткості поверхонь.

При роботі з типовими верстатами з ЧПУ, тобто автоматизованими верстатами, що використовують технологію числового управління, програма обробки деталей підготовляється програмістами й вводиться в контролер верстата. Розроблювачі програм обробки деталей звичайно користуються відомостями про засоби виробництва, мають знання в областях програмування й геометричного аналізу.

У наш час навантаження на програміста стало набагато меншим, ніж раніше, тому що програма обробки деталей може складатися програмним забезпеченням безпосередньо на підставі бази даних CAD.

8.2 Апаратна конфігурація верстата з ЧПУ

Типова верстатна система із числовим програмним управлінням складається із *блоку керування верстатом (machine-*

control unit — *MCU*) і самого верстата (рис. 8.1). *MCU*, що виконує функції «мозку» верстатної системи, зчитує програму обробки деталей і управляє роботою верстата. Ці операції виконуються двома окремими модулями *MCU*: *модулем обробки даних* (*data processing unit* — *DPU*) і *замкненою системою автоматичного регулювання* (*control loop unit* — *CLU*).

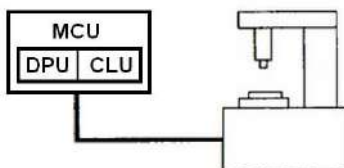


Рисунок 8.1 – Схема верстата з ЧПУ

Модуль *DPU* зчитує програму обробки деталі зі стрічки або іншого носія, декодує оператори, обробляє декодовану інформацію й передає в модуль *CLU* відомості про положення по кожній з осей верстата, напрямку руху, подачі й додаткових керуючих сигналах.

Вісь, або *ступінь свободи* (*axis*) верстата, визначається як напрям відносного руху різального інструменту й заготовки. Осей у верстата може бути кілька. Модуль *CLU* ухвалює дані від *DPU* і перетворює їх у керуючі сигнали. Він управляє приводними механізмами верстата, ухвалює сигнали зворотного зв'язку, що несуть інформацію про реальне положення й швидкості по кожній з осей, а також вимагає від *DPU* вважати наступні інструкції із програми обробки деталі, коли виконання чергової операції завершується.

DPU складається із пристрою введення даних (такого як, наприклад, пристрій зчитування з перфострічки), ланцюги читання даних і декодувальних ланцюгів, що визначають необхідні зсуви по осях. У верстатних системах першого й другого покоління *DPU* забезпечувався пристроєм читання з перфокарт (рис. 8.2), на яких тоді записувалися програми.

CLU складається з інтерполятора, ланцюгів контролю положень по всіх осях, ланцюгів контролю швидкостей, ланцюгів гальмування й вибору люфту, а також пристроїв контролю додаткових функцій. Інтерполятор забезпечує виробіток команд

для проміжних точок у процесі руху різця. Ланцюги контролю положень управляють положенням різця відповідно до осей.



Рисунок 8.2 – Перфострічка

Ланцюги контролю швидкості використовуються в тому випадку, коли потрібне регулювання швидкості подачі. Пристрої контролю додаткових функцій вирішують такі завдання, як включення й вимикання охолодження, зміна передачі й подача бабки.

8.3 Типи систем ЧПУ

Контролери ЧПУ діляться на дві основні категорії: *системи позиційного регулювання (point-to-point або FTP)* і *пристрої контурного керування (contouring)*. Контролер типу FTP використовується в тому випадку, коли траєкторія руху інструмента щодо деталі не має значення, наприклад, якщо інструмент не торкається деталі при переміщенні від однієї точки до іншої.

Найчастіше така ситуація має місце при свердлінні, пробиванні, нарізці різьблення й установці компонентів на друкованій платі. Позиційне регулювання реалізується досить

просто, а тому верстат з таким контролером коштує недорого. Він може виконувати й прості фрезерувальні операції, якщо постачити його механізмом контролю швидкості подачі при переміщенні від однієї точки до іншої. Такий верстат можна використовувати для фрезерування пазів.

Пристрій контурного керування використовується в тих випадках, коли важлива траєкторія руху інструмента щодо деталі: на фрезерувальних і токарських верстатах, газових різачках, зварювальних установках і шліфувальних верстатах.

У таких пристроях потрібне одночасне керування по двом і більш осям, причому швидкість по кожній осі може задаватися незалежно. Наприклад, інструмент може рухатися по будь-якій траєкторії в площині xy , якщо система буде управляти співвідношенням компонентів швидкості. Таким чином, контролер ЧПУ може забезпечувати, наприклад, рух по окружності при завданні центру, радіуса й кінцевих точок дуги.

8.4 Системи NC, CNC, DNC

Верстати з ЧПУ першого й другого покоління, що працювали на лампах і твердотільних ланцюгах, зчитували програму винятково з перфострічок. У той час не було можливості зберігати програму в MCU, а обробляти команди цей блок міг тільки по одній. Верстати такого класу називаються *верстатами зі ЧПУ типу NC*, або просто *верстатами з ЧПУ*.

Керуючі ланцюги верстатів третього покоління збиралися на інтегральних схемах, до яких додавалися блоки пам'яті. Технології, що широко використовувалися в комп'ютерній техніці, дозволили в 1970 р. створити контролер у його сучасному вигляді.

Верстат з таким контролером називається *комп'ютеризованим (computer numerical control — CNC)*. Завдяки наявності блоку пам'яті MCU вимагає лише однократного завантаження програми. Збережена в комп'ютері програма може бути викликана для подальшого використання без необхідності повторного зчитування для кожної деталі з партії, як це було в системах зі ЧПУ типу NC.

Наявність комп'ютерного інтерфейсу, крім того, дозволяє обмінюватися даними між блоками інтегрованих систем.

Наприклад, CNC може взаємодіяти з іншими модулями: роботами й автоматизованими верстатами.

Пізніше до верстатів були додані індикаторні дисплеї, що забезпечують можливість діагностики й аналізу, що також спрощують редагування програм обробки деталей. Більш складні верстати можуть наочно відображати траєкторію руху інструмента.

Сучасний контролер CNC нагадує персональний комп'ютер. Насправді він цілком може вважатися спеціалізованим комп'ютером, призначеним для керування верстатами. Крім процесора й ПЗП (ROM) у контролері є ОЗП (RAM), жорсткий диск, комунікаційні порти, клавіатура, дисплей, а іноді й графічний пристрій введення — миша, трекбол або сенсорний екран. Останнім часом стали випускатися контролери на базі персональних комп'ютерів, що відрізняються від звичайних комп'ютерів тільки наявністю спеціальної плати сервоконтролера.

Наявність ПЗП дозволяє використовувати запрограмовані послідовності команд, називані *фіксованими циклами* (*canned cycles*). Вони можуть бути визначені як стандартні підпрограми й зберігатися в бібліотеці верстата. Будь-яка програма може викликати й використовувати будь-яку підпрограму за допомогою спеціального коду.

Слово «фіксований» указує на те, що підпрограма зберігається в постійній пам'яті, а «циклом» вона називається через повторний характер обігів. Типовими прикладами фіксованих циклів є підпрограми свердління, нарізування внутрішнього різьблення, розточення й нарізування зовнішнього різьблення.

ЧПУ тупо DNC (Direct Numerical Control) являє собою систему виробництва, що складається із центрального комп'ютера, що управляє декількома верстатами одночасно (рис. 8.3). Керуючий комп'ютер одержує дані про оброблювану деталь або із власного пристрою зберігання, або із зовнішнього джерела. Він пересилає блоки команд верстатам, що здійснюють фактичне виробництво деталей. Ця технологія повністю ґрунтується на взаємодії центрального комп'ютера з верстатами.



Рисунок 8.3 – Схема прямого числового управління

Пряме (direct) числове управління згодом було замінено *розподіленим (distributed)*, яке полягає в тому, що центральний комп'ютер повністю завантажує на верстати з ЧПУ типу CNC програми обробки відповідних деталей. Ці верстати можуть зберігати у власній пам'яті одну або навіть кілька програм, і тому не залежать від центрального комп'ютера.

Абревіатура DNC використовувалася для позначення обох типів систем, однак згодом стала мати на увазі саме розподілене керування, оскільки популярність його сильно зросла. До складу деяких систем DNC включаються комп'ютери-сателіти (звичайно робочі станції або персональні комп'ютери), по одному на кожний верстат.

Це збільшує швидкодію системи в цілому, дозволяє працювати з більшими файлами й поєднувати в мережу більша кількість верстатів (рис. 8.4). На комп'ютери-сателіти часто встановлюється програмне забезпечення для надання звітів про роботу верстатів на центральний комп'ютер, що спрощує керування цехом.

8.5 Основи складання програм обробки деталей

Програма обробки деталей містить відомості про геометричну форму деталі й про переміщення різця щодо заготовки. Отже, програміст повинен якимось чином сформулювати ці відомості й записати їх. Опис геометрії й переміщень вимагає, у першу чергу, завдання системи координат. Якщо система координат програміста відрізняється від основної

системи координат верстата, деталь вийде неправильною.

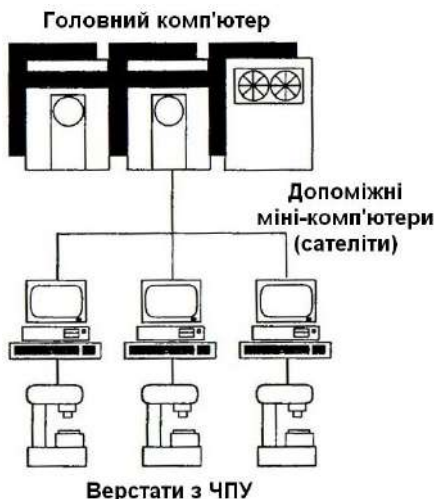


Рисунок 8.4 – Схема розподіленого числового управління

Тому програміст повинен завжди перевіряти орієнтацію системи координат, у якій задається траєкторія руху різця. Якщо траєкторія будується за даними з бази CAD, система координат моделі або креслення повинна бути повністю ідентичною системі координат верстата.

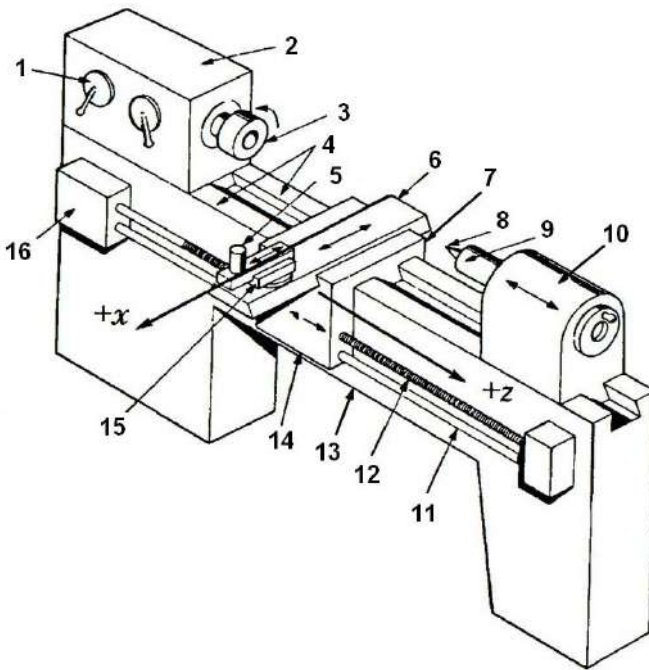
Програма обробки деталі має свій власний синтаксис і семантику, також формат команд або блоків, як їх ще називають, а також синтаксис і значення слів кожного блоку. Блоком називається рядок слів програми обробки деталі. Кожний блок складається з декількох команд.

Системи координат.

Відносно переміщення інструмента й заготовки здійснюється за допомогою напрямних верстата. Три основні осі переміщення називаються осями x , y і z і утворюють праву систему координат. Позитивні напрямки осей звичайно визначаються виробником верстата. За загальною згодою позитивний напрямок осі z відповідає віддаленню інструмента від заготовки.

- **Вісь z .** На верстатах, подібних токарському, де деталь обробається під час її обробки, вісь z направляється

паралельно шпинделю, а рух уздовж цієї осі в позитивному напрямку видаляє інструмент від заготовки (рис. 8.5). Якщо ж обертається не деталь, а інструмент, як на фрезерувальному, свердильному й розточувальному верстатах, вісь z вибирається паралельно осі інструмента. Як і у верстатів з обертовою заготовкою, рух уздовж осі z у позитивному напрямку видаляє інструмент від заготовки (рис. 8.6 а, б). В інших верстатах, до яких відносяться преси, стругальний і стригальний верстати, вісь z направляється перпендикулярно набору інструментів.

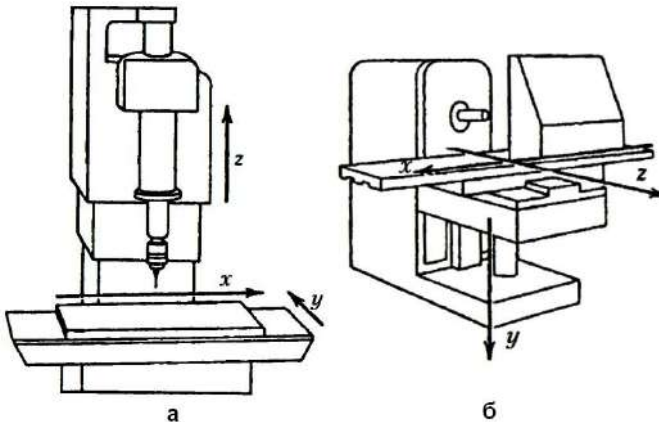


- 1 – швидкість шпинделя, 2 – передня бабка, 3 – шпиндель, 4 – напрямні,
 5 – тримач, 6 – поперечний супорт, 7 – каретка супорта, 8 – центр,
 9 – шпиндель задньої бабки, 10 – задня бабка,
 11 – тяга механізму подачі, 12 – гвинт подачі, 13 – станина,
 14 – фартух, 15 – поворотний тримач різця, 16 – коробка передач

Рисунок 8.5 – Система координат токарного станка

- **Вісь x.** У верстатах з обертовою деталлю за вісь x ухвалюється напрямок переміщення інструмента (різця), а рух уздовж цієї осі в позитивному напрямку видаляє інструмент від заготовки (рис. 8.5). На вертикальних фрезерувальному й свердлильному верстатах позитивний напрямок осі x відповідає напрямку правої руки оператора, що коштує особю до верстата (рис. 8.6 а). На горизонтальному фрезерувальному верстаті вісь x направляється паралельно столу (рис. 8.6 б).
- **Вісь y.** Напрямок осі y вибирається виходячи з напрямків осей x і z відповідно до правила правої руки.

У деяких верстатів ступенів свободи може бути більше трьох; зайві ступені свободи називаються додатковими. Можуть також існувати обертальні осі, паралельні осям x , y і z . За загальною згодою верстати класифікуються відповідно до кількості координат, необхідних для завдання положення й орієнтації різця. Наприклад, фрезерувальний верстат може мати 2, 3 або 5 осей відповідно з тим, скільки координат можуть одночасно задаватися контролером. Якщо контролер може одночасно переміщати різець лише по двом осям, верстат називається двовісним, або таким що має два ступені свободи.



а – вертикальний свердлувальний; б – горизонтальний фрезерний

Рисунок 8.6 – Система координат верстатів

У цьому випадку інструмент може незалежно переміщатися уздовж третьої осі. Якщо у верстата є три ступені свободи, інструмент може переміщатися по довільній кривій у тривимірному просторі, але не може змінювати орієнтацію. Якщо ж потрібна зміна орієнтації різця одночасно з переміщенням його в просторі, верстат повинен мати більшу кількість ступенів свободи. У продажі зустрічаються верстати, що мають до дев'яти ступенів свободи.

8.6 Синтаксис програми обробки

Для написання програм обробки деталей використовуються різні формати представлення інформації. Сама програма обробки звичайно розробляється відповідно до досить добре визначеного синтаксису, незначні відхилення від якого можуть бути пов'язані з особливостями конкретних контролерів. Контролер зчитує інструкції у вигляді послідовності блоків, що містять команди на установку параметрів, швидкостей по осях, а також на виконання інших операцій. Блоком називається рядок слів програми обробки. Кожна команда позначається буквою, за якою іде певне число.

8.7 Складання програм вручну

Мається на увазі, що програміст без усякої допомоги з боку комп'ютера записує блоки програми на рукописному бланку. Потім за допомогою флексорайтера (Flexowriter) із цього бланка одночасно одержують набраний текст і перфострічку. Кожний рядок рукописного бланка еквівалентний блоку перфострічки й закінчується символом кінця блоку (EOB).

Складність програмування вручну полягає в тому, що програма описує траєкторію руху інструмента, а не геометрію деталі. У контурному регулюванні це означає, що координати задають положення центру різця, а не положення точок реального контуру деталі.

Програміст може скористатися функцією *корекції на різальний інструмент (cutter compensation)*, що дозволить йому не обчислювати координати положення центру різця. Однак йому однаково прийдеться додати додаткові точки, що з'єднують розрахункові траєкторії.

8.8 Автоматизоване складання програм

Однією з альтернатив складанню програм обробки вручну є використання мов програмування високого рівня замість кодів, незручних для запам'ятовування. Мови високого рівня засновані на звичайних англомовних командах і зручних математичних символах. Вони можуть інтерпретуватися персональними комп'ютерами.

Програміст, що працює з такою мовою, повинен вирішувати два завдання. По-перше, він повинен визначити геометрію деталі в термінах базових геометричних елементів, таких як точки, лінії, окружності й т.п. По-друге, він повинен скласти програму обробки деталі по цих елементах. Відступ автоматично обчислюється самою системою, причому робиться це набагато ефективніше, чим у ранніх системах.

8.9 Програмування обробки по базі CAD

Більшу частину програм обробки деталей становлять оператори, що визначають геометрію цих деталей. Якщо деталь вже спроектована в CAD, з погляду програміста цілком природно скористатися даними про її геометрію, що зберігаються в базі даних CAD. Навіть якщо деталь не була спроектована в CAD, побудова її креслення в такій системі набагато зручніша опису її спеціальною мовою, особливо якщо деталь має криволінійні границі й поверхні.

Перераховані ідеї лягли в основу інтегрованих систем CAD/CAM. У таких системах геометричні оператори передаються з бази CAD у програму ЧПУ, а в деяких випадках по них автоматично складаються оператори переміщень, що управляють рухом різального інструменту. Раніше всі ці завдання виконувалися програмістом.

Складання програми обробки деталей за допомогою інтегрованої системи CAD/CAM здійснюється в наступній послідовності.

1. Виділяються елементи геометрії деталі, особливо важливі при машинній обробці. Ці елементи можуть бути виділені в окремий шар креслення. Геометрія деталі може

зажати редагування або розширення (з метою включення границь, що визначають рух різального інструменту). Геометричні відомості, необхідні для складання програми обробки, залежать від того, яким методом і на якому верстаті проводиться дана деталь. Наприклад, токарські операції (гостріння, підрізування торця, проточка канавок і нарізка різьби) вимагають знання двовимірного профілю (рис. 8.7 а).

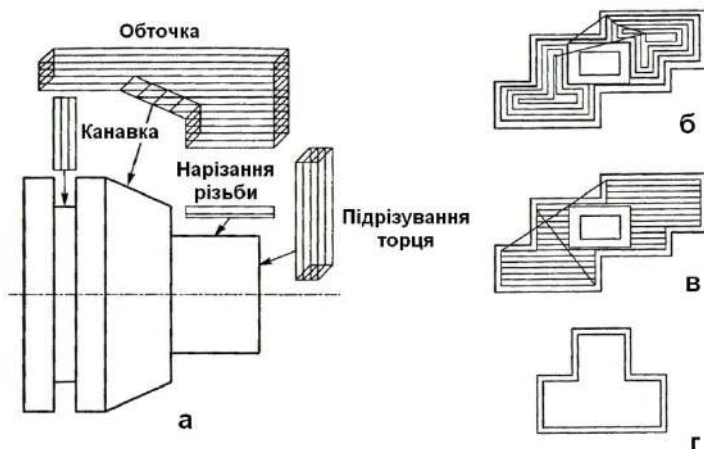


Рисунок 8.7 – Геометрія в токарських операціях

Цей профіль може бути отриманий безпосередньо з бази даних CAD, якщо деталь була спроектована за допомогою системи автоматизованої розробки креслень, вбудованої в інтегровану систему CAD/CAM. Правда, від користувача може знадобитися побудова профілю в окремому шарі, а якщо ні, то програма попросить його ізолювати профіль від інших об'єктів (зокрема, анотацій, які теж можуть перебувати на кресленні).

Якщо деталь була побудована в системі об'ємного моделювання, що входить до складу інтегрованої системи, користувачеві прийдеється проектувати об'ємну модель на площину для одержання її профілю або ж шукати вихідний профіль, по якому ця деталь будувалася. У кожному разі для визначення профілю може знадобитися деяка робота в інтерактивному режимі.

Двовісні операції фрезерування і свердління, подібно

токарем, вимагають подачі на вхід двовимірної геометрії деталі. Операції контурної обробки й фрезерування глибоких вилючень (рис. 8.7 б) можуть ґрунтуватися на відомостях із двовимірної або тривимірної бази даних, як і операції токарської обробки. На рис. 8.7, б, в показані глибокі вилучення двох типів, а на рис. 8.7, г – профіль.

Крім згаданих операцій існують також операції різання газовим зварюванням і плазмовим різакон, пресування на револьверному пресі з ЧПУ. Ці операції теж працюють із двовимірною геометрією, відомості про яку, отже, повинні якимось чином вийматися з бази даних деталей. Звичайно користувачеві доводиться вручну вибирати на малюнку елементи, що утворюють необхідну геометрію.

Якщо поверхні деталі повинні оброблятися на три- або п'ятивісному фрезерувальному верстаті в режимі контурного регулювання, для складання програми будуть потрібні геометричні відомості про поверхні. Ці відомості можуть бути перенесені в програму, якщо деталь була спроектована в системі поверхневого або об'ємного моделювання інтегрованої системи, що входить до складу, CAD/CAM.

У цьому випадку користувачеві прийде в інтерактивному режимі вказати поверхні для обробки (визначивши для них роль поверхонь деталі), а також задати сусідні з ними поверхні (які будуть відігравати роль поверхні руху й контрольних поверхонь).

Незважаючи на необхідність виконання деяких дій в інтерактивному режимі, переваги від використання інтегрованих систем дуже істотні, оскільки описати складні криволінійні поверхні спеціальною мовою, дуже складно, а часто виявляється практично неможливо.

2. Визначається геометрія різального інструменту.

Програмне забезпечення звичайно включає бібліотеки інструментів, з яких користувач може вибирати потрібні йому екземпляри.

3. Користувач визначає бажану послідовність операцій обробки й планує необхідні траєкторії руху різального інструменту з відповідними параметрами обробки. Траєкторією різального інструменту називається траєкторія, яку описує інструмент але в міру того, як він наближається зі свого

вихідного положення до заготовки, виконує її обробку й знову вертається у вихідне положення.

Траєкторія звичайно повторюється кілька раз, поки різальний інструмент знімає шар усе більшої й більшої товщини. Для простих операцій траєкторія різального інструменту може будуватися системами автоматично.

4. Після планування траєкторії руху координати x , y і z точок на цій траєкторії обчислюються програмою ЧПУ з урахуванням обраного різця й геометрії деталі. Використання безлічі точок на кожній траєкторії (тобто апроксимація більшою кількістю прямих сегментів) дасть більш точну відповідність поверхні очікуваній формі. Однак програма обробки може виявитися довшою, що знизить швидкість її передачі на DNC.

5. Побудована траєкторія руху інструмента може бути перевірена на графічному моніторі. Звичайно при цьому на екран виводиться анімована картинка, що зображує рух різця в процесі обробки деталі. Якщо в програмі виявляються помилки, користувач завжди може змінити її й перевірити знову. Деякі цикли обробки можуть реалізовуватися у вигляді макросів.

6. По скоректованих траєкторіях формується CL-Файл (з координатами точок на цих траєкторіях), який потім обробляється постпроцесором, у результаті чого виходить файл у машинному коді (MCD-Файл). Цей файл і передається контролеру верстата.

Про те, яким чином розраховуються й перевіряються траєкторії руху різального інструменту при обробці поверхонь фрезеруванням – написано у спеціальній літературі по металообробці. Якщо мова йде про обробку двовимірних профілів, як, наприклад, при свердлінні або двовісному фрезеруванні, траєкторії розраховуються за допомогою елементарної аналітичної геометрії, розглядати яку в цьому курсі немає необхідності.

7. Побудова траєкторій.

Обробка поверхні на фрезерувальному верстаті із трьома або п'ятьма ступенями свободи й контурним регулюванням може зажадати побудови декількох траєкторій. Якщо потрібно зняти товстий шар матеріалу, звичайно розраховуються траєкторії двох типів: спочатку робиться чорновий прохід і знімається основна

частина матеріалу, а потім здійснюється завершальна тонка обробка (доведення), що дає деталь бажаної форми. У деяких випадках доводиться робити ще й третій, проміжний, прохід.

Питання для самоперевірки

1. Що таке числове програмне управління?
2. Хто винайшов ЧПУ?
3. Розкажіть про апаратну конфігурацію верстата з ЧПУ.
4. Навіщо необхідна перфострічка?
5. Назвіть типи систем ЧПУ.
6. Розшифруйте аббревіатури NC, CNC, DNC.
7. З чого складається сучасний комп'ютеризований верстат CNC?
8. З чого складається розподілене числове управління?
9. Розкажіть про системи координат верстатів.
10. Який основний недолік ручного складання програм ЧПУ?
11. Які основні ідеї лягли в основу автоматичного складання програм для верстатів з ЧПУ?
12. В якій послідовності складають програми обробки деталей за допомогою інтегрованої системи CAD/CAM?

9 ШВИДКЕ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОТОТИПІВ

9.1 Появлення систем твердотільного моделювання та їх відмінність від ЧПУ

На попередній лекції ви познайомилися з обробкою на верстаті зі ЧПУ й довідалися, як використовуються геометричні дані з бази даних CAD при обробці деталі. Хоча геометрична модель використовувалася як джерело загальних даних, процеси проектування й виробництва не були безпосередньо інтегровані в процедуру обробки.

Іншими словами, щоб верстат зі ЧПУ міг виконати обробку за даними геометричної моделі, був потрібен ряд проміжних кроків: планування процесів, вибір конструкцій затискачів і кріплень, вибір устаткування.

Існує ще один спосіб використання геометричної моделі у виробництві – це швидке прототипування. Існують різні процеси швидкого прототипування, але всі їх поєднує те, що прототип виготовляється шляхом пошарового накладення композитного матеріалу.

Швидке виготовлення прототипу (Rapid Prototyping – RP) – це нові технології, що активно розвиваються в проектній і виробничій індустрії. Надають можливість одержувати фізичні деталі і моделі без інструментального їхнього виготовлення, шляхом перетворення даних, що надходять безпосередньо з CAD-системи, одержати креслення і проекти в 3D-представленні, тільки натиснувши кнопку.

При завершенні роботи на CAD-робочій станції над ідеєю або проектом, можна дати команду «друк», і протягом декількох годин або днів, у залежності від розміру, одержати фізичну модель виробу.

У порівнянні з іншими методами (виготовлення моделей з пінопласту, дерева, воску вручну або на верстатах із ЧПУ), що існували до середини 80-х років, поява систем швидкого виготовлення прототипів була переворотом у технології.

Замість того, щоб чекати фізичні моделі протягом декількох тижнів, конструктори можуть одержувати їх через кілька днів або годин.

В даний час на ринку існують різні RP-системи, що роблять моделі по різних технологіях і з різних матеріалів. Однак, усі сучасні системи для швидкого виготовлення прототипів, працюють по схожому, пошаровому принципу побудови фізичної моделі, що полягає в наступному:

- зчитування тривимірної геометрії з 3D CAD-систем у форматі STL (звичайні твердотільні моделі або моделі з замкнутими поверхневими контурами). Усі CAD-системи твердотільного моделювання можуть видавати файли STL;
- розбивка тривимірної моделі на поперечні перерізи (шари) за допомогою спеціальної програми, що поставляється з устаткуванням або використовується як додаток;
- побудова перетинів деталі шар за шаром знизу нагору, доти, поки не буде отриманий фізичний прототип моделі. Шари розташовуються знизу нагору, один над іншим, фізично зв'язуються між собою. Побудова прототипу продовжується доти, поки надходять дані про перетини CAD-моделі.

Основна перевага швидкого прототипування полягає в тому, що прототип створюється за один раз, вихідними даними для нього є безпосередньо геометрична модель деталі. Таким чином, відпадає необхідність у плануванні послідовності технологічних процесів, спеціальному устаткуванні для обробки матеріалів, транспортуванні від верстата до верстата і т.п.

Однак у порівнянні з обробкою на верстаті зі ЧПУ цей процес має істотний недолік – обмеженість вибору матеріалів. Оскільки верстати зі ЧПУ здатні обробляти більшу частину доступних промислових матеріалів, включаючи метали, то фізичні об'єкти, виготовлені методом швидкого прототипування, використовуються головним чином у якості прототипів або шаблонів для інших виробничих процесів.

Після появи систем твердотільного моделювання на початку 70-х р. XX ст. робилися спроби генерувати фізичні об'єкти безпосередньо з геометричних даних, не використовуючи традиційні інструменти.

Нова технологія одержала назву швидке прототипування

(rapid prototyping), а також пошарове виготовлення (layered manufacturing), тривимірний друк (3D printing), настільне виготовлення (desktop manufacturing) і виготовлення об'ємних деталей довільної форми (solid freeform manufacturing).

Відтоді ця технологія пішла далеко вперед, знайшовши безліч застосувань на виробництві крім виготовлення прототипів. Виходячи із цього, більш вдалим позначенням для неї в даний момент є термін швидке прототипування й виготовлення (rapid prototyping and manufacturing).

В своїй основі процеси швидкого прототипування й виготовлення складаються із трьох кроків: формування поперечних перерізів об'єкта що виготовляється, пошарове накладення цих перетинів і комбінування шарів. Таким чином, щоб створити фізичний об'єкт, цим процесам потрібні дані лише про поперечні перерізи; крім того, зникають наступні проблеми, що часто виникають у зв'язку з іншими виробничими процесами:

- відпадає необхідність у топологічному проектуванні й розпізнаванні по елементах, оскільки планування процесів, у ході якого використовується ця інформація, не потрібно. Аналогічним образом, не потрібно перетворювати елементи конструкції в елементи виготовлення. Досить мати тривимірну поверхневу або твердотільну модель деталі, на основі якої будуть згенеровані дані поперечних перерізів;
- непотрібно визначати геометрію порожнього простору, оскільки в ході процесів виготовлення, матеріал додається, а не знімається;
- непотрібно визначати кілька наборів устаткування або складні послідовності обробки матеріалу, оскільки деталь виготовляється за один раз.
- немає необхідності розглядати конструкції затискачів і кріплень (деякі процеси можуть вимагати створення разом з деталлю підтримуючих структур);
- непотрібно проектувати й виготовляти форми та штампи, тому що процеси виготовлення є безінструментальними.

Таким чином, оскільки процеси швидкого прототипування дозволяють створити фізичний об'єкт без використання інструментів, вони добре підходять для інтеграції проектування й

виготовлення без планування процесів.

Шари поперечних перерізів можуть створюватися й комбінуватися одним з наступних методів:

- полімеризація смол лазером, іншими джерелами світла або лампами;
- вибіркове спікання твердих часток або порошку променем лазера;
- зв'язування рідких або твердих часток шляхом склеювання або зварювання;
- різання й ламінування листового матеріалу;
- плавлення й затвердіння.

9.2 Основні принципи та різновиди сучасних технологій швидкого виготовлення прототипів

Розглянемо більш детально **основні типові процеси швидкого прототипування й виготовлення**, засновані на цих методах. Робота деяких RP-систем заснована на фотополімеризації – хімічному процесі, при якому рідка смола (полімер) перетворюється у твердий полімер під впливом на неї ультрафіолетового випромінювання або випромінювання видимої частини спектра. Інші RP-системи працюють з використанням теплових процесів для побудови фізичних моделей.

Стереолітографія. Наприкінці 70-х — початку 80-х рр. ХХ ст. А. Герберт із корпорації 3М у Мінеаполісі, Х. Кодама з Дослідницького інституту префектури Нагоя в Японії, та К. Халл із корпорації Ultra Violet Products (UVP) у Каліфорнії, незалежно один від іншого працювали над ідеями швидкого прототипування, заснованими на вибіркового затвердінні поверхневого шару фотополімеру й побудові тривимірних об'єктів з послідовно накладених шарів.

Герберт і Кодама припинили роботу через недолік фінансування, так і не зумівши розробити комерційний продукт. Халл завдяки стабільній підтримці від UVP розробив систему, здатну автоматично виготовляти деталі складної форми. Халл увів в обіг термін стереолітографія (stereolithography) і в 1986 р. заснував корпорацію 3D Systems, яка почала робити стереолітографічні апарати (stereo lithography apparatus – SLA).

Процес виготовлення деталі зображений на рис. 9.1, і

відбувається наступним чином:

- фоточутливий полімер, затвердіваючий на світлі, підтримується в рідкому стані;
- на товщину одного шару нижче поверхні рідкого полімеру розташовується платформа, здатна рухатися у вертикальному напрямку;
- ультрафіолетовий лазер сканує шар полімеру над платформою, призводячи до затвердіння полімеру згідно форми відповідного поперечного перетину. Зверніть увагу, що цей процес починається з нижнього поперечного перетину деталі;
- платформа опускається у ванну з полімером на товщину одного шару, даючи полімеру розтектися по поверхні деталі для початку нового шару;
- кроки 3 і 4 повторюються, поки не буде нарощений верхній шар деталі;
- для повного затвердіння деталі виконується остаточне затвердіння. Цей крок необхідний, оскільки в кожному шарі можуть ще залишатися рідкі ділянки. Тому що лазерний промінь має кінцеві розміри, сканування кожного шару аналогічно зафарбовуванню деякої фігури тонкою кольоровою ручкою.

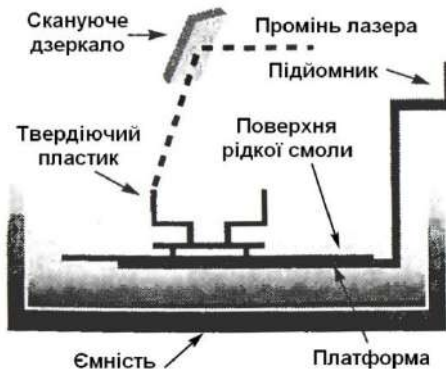


Рисунок 9.1 – Стереолітографія

Стереолітографія найбільш популярна серед процесів

швидкого прототипування й виготовлення, та її інтерфейс із твердотільною моделлю став стандартом для інших процесів. Однак вона вимагає створення підтримуючих структур, якщо деталь має вирізи знизу, тобто верхній поперечний переріз деталі має більшу площу, ніж нижній.

Тривимірний друк (рис. 9.2), був розроблений у Масачусетському Технологічному інституті. Цей процес тривимірного друку був названий так через свою схожість із друком на струминному принтері. Проте у тривимірному друці замість чорнила використовується рідка зв'язувальна речовина.

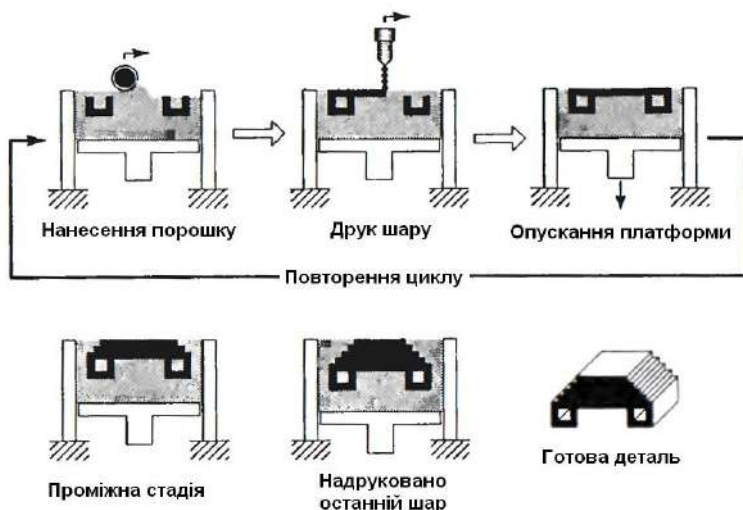


Рисунок 9.2 – Тривимірний друк

Процес тривимірного друку відбувається наступним чином:

- платформа розташовується на висоті, необхідній для того, щоб можна було нанести на неї шар керамічного порошку належної товщини;
- нанесений шар керамічного порошку вибірково сканується друкуючою головкою, з якої надходить рідка зв'язувальна речовина, що викликає прилипання часток одна до іншої. Скановані друкуючою головкою частки утворюють необхідну форму поперечного перерізу.

Зверніть увагу, що цей крок починається з нижнього поперечного перерізу;

- платформа опускається на одну товщину шару, дозволяючи нанести наступний шар порошку;
- новий шар сканується, утворюючи наступний поперечний переріз і склеюючись із попереднім шаром;
- кроки 3 і 4 повторюються, поки не буде створений верхній шар деталі. Для затвердіння деталі проводиться наступна теплова обробка.

За допомогою тривимірного друку зручно виготовляти форми для лиття, оскільки форма виготовляється як цільна деталь, що складається з оболонки й порожнин, і положення порожнин щодо оболонки можна задавати точно. Однак форми для лиття, виготовлені шляхом сучасної тривимірного друку, мають невисоку якість поверхні.

Ламінування. У процесі ламінування (laminated object manufacturing – LOM), комерціалізованому фірмою Helisis, деталь виготовляється шляхом ламінування й лазерного різання матеріалів, що надходять у листовому виді (рис. 9.3). Злипання аркушів відбувається за рахунок наявності термоадгезивного покриття.

Процес ламінування протікає наступним чином:

- кожний аркуш приклеюється до заготовки за допомогою нагрівання й тиску, утворюючи черговий шар. Аркушевий матеріал подається у вигляді безперервного рулону з однієї сторони машини й збирається із протилежної сторони (рис. 9.2). Температуру й тиск, необхідні для ламінування, забезпечує нагрітий валик. Зверніть увагу, що коли до стопки приклеюється наступний аркуш, платформа опускається на товщину одного аркуша;
- після того як шар (аркуш) приклеєний, він сканується лазером уздовж контурів поточного поперечного перерізу. Звичайно для цієї мети використовується лазер на вуглекислому газі потужністю 25 або 50 Вт. Як і в інших процесах, цей крок починається з нижнього поперечного перерізу. Зверніть увагу, що тут сканування проводиться тільки по контурах. Це робить даний процес більш ефективним, ніж процеси, які вимагають растрового

- сканування;
- області шару, що виходять за межі контурів, штрихуються лазером (тобто розсікаються на маленькі шматочки, називані черепицями (tiles), для наступного видалення, коли деталь буде закінчена);
 - кроки 1-3 повторюються доти, поки не буде наклеєний і вирізаний верхній шар деталі;
 - після того як усі шари будуть готові, результатом буде деталь, що перебуває усередині блоку підтримуючого матеріалу. Цей матеріал потім розламається на шматочки уздовж ліній лазерного штрихування;
 - готову деталь можна покрити герметиком, щоб охоронити її від вологості.

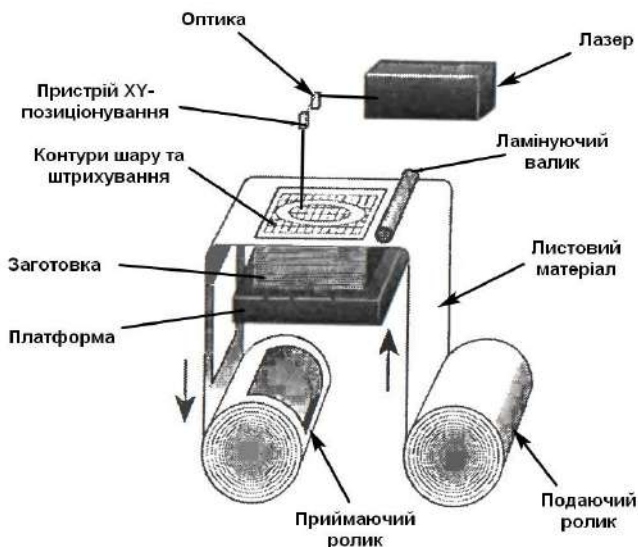


Рисунок 9.3 – Ламінування

Наявність підтримуючого матеріалу навколо деталі має свої переваги й недоліки. Насамперед, вона виключає необхідність у зовнішніх підтримуючих структурах. При виготовленні деталі усередині блоку підтримуючого матеріалу, що має певну форму, геометрія всієї структури стабілізована в процесі виготовлення й, відповідно, їй не загрожує перекид під власною вагою.

Більше того, не доводиться турбуватися про ізолювані «острівці», які часто утворюються, коли тверде тіло, спроектоване в CAD-системі, розсікається на шари. Іншими словами, ламінування дозволяє уникнути створення спеціальних підпірок, які точно фіксували б ці «острівці» у просторі, поки в процесі виготовлення не будуть створені «мости» до частин, що залишилися, деталі. Однак видалення зайвого матеріалу по закінченню виготовлення деталі є непростим завданням.

Щоб гарантувати, що будуть вилучені тільки надлишки, а тендітні частини деталі не будуть при цьому зламані, необхідно дбайливе очищення, виконуване вручну. Крім того, порожню структуру із замкненими поверхнями неможливо виготовити у вигляді єдиної частини, оскільки в цьому випадку надлишки матеріалу неможливо буде витягти зсередини.

Складність видалення непотрібного матеріалу характеризує будь-яку частину з вузькими перемичками, внутрішніми порожнинами з обмеженим доступом, сліпими отворами й т.п. Далі, більша частина матеріалу, що витрачається при ламінуванні, іде не на саму деталь, а залишається невикористаною в рулоні або утворює підтримуючі структури, які будуть вилучені після виготовлення. Це може бути досить марнотратно, якщо застосовуються більш дорогі матеріали, ніж папір.

Процес **моделювання методом наплавлення** (fused-deposition modeling — FDM) — відносно простий але його застосування обмежене термопластичними матеріалами (рис. 9.4). Комерційна реалізація цього методу виконана фірмою Stratasys. У процесі наплавлення, кожний шар формується шляхом видавлювання термопластичного матеріалу, що перебуває в рідкому стані (рис. 9.4), а сама деталь виготовляється шляхом послідовного наплавлення шарів. Температура матеріалу, що видавлюється, незначно перевищує його температуру затвердіння: це аналогічно створенню написів на торті шоколадним кремом.

9.3 Вартість технології швидкого виготовлення прототипів

Розроблювачі RP-систем останнім часом орієнтуються на

випуск недорогих і швидкодіючих машин, знижуючи вартість і збільшуючи обсяг робочої камери.

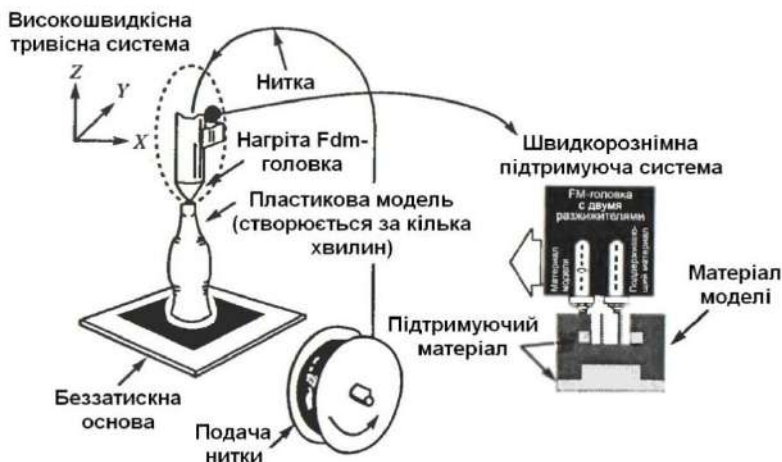


Рисунок 9.4 – Моделювання методом наплавлення (Stratasys Inc.)

Таким чином, нові технології виготовлення прототипів дозволяють значно скоротити терміни виготовлення моделей для візуалізації, припасування, виготовлення оснащення й інших застосувань, що забезпечує: скорочення циклу розробки; поліпшення дизайну; підвищення якості; зменшення ціни продукту і виробництва; прискорення внесення змін у конструкцію.

Швидке виготовлення прототипів стало найважливішою частиною CAD/CAM – процесу. RP-технології дозволяють користувачам за короткий час перевірити дані CAD-систем.

Усе збільшуване використання твердотільного моделювання, забезпечує поширення технологій швидкого одержання прототипів. Підвищується якість матеріалів і точність прототипів.

Усе це говорить про те, що технології і системи швидкого одержання прототипів будуть займати усе більше місце в автоматизованому проектуванні. У недалекому майбутньому RP-системи будуть доступні будь-якому користувачеві і стануть звичним інструментом конструктора, підвищуючи якість

проектування і скорочуючи час випуску нової продукції.

Питання для самоперевірки

1. В чому полягає відмінність між виготовленням деталі за допомогою ЧПУ та швидкого прототипування?
2. Розкрийте основний принцип побудови фізичної моделі при швидкому виготовленні прототипу.
3. В чому полягає основна перевага технологій швидкого прототипування?
4. Назвіть основні типові процеси швидкого прототипування й виготовлення.
5. Коротко розкажіть про технологію ламінування.
6. Які перспективи використання технологій швидкого прототипування?
7. Коротко розкажіть про технологію тривімірного друку.
8. Який основний недолік технологій швидкого прототипування?
9. Розкажіть про технологію стереолітографії.

10 ВІРТУАЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Стрімко мінливий і диверсифікований ринок вимагає зменшення життєвого циклу для багатьох товарів. Швидкість розробки продукту є ключовим фактором для задоволення цих вимог ринку. Однак традиційна розробка продукту ґрунтувалася на ітераціях процесу проектування й побудові дорогих і трудомістких фізичних прототипів, коли постало завдання скорочення цього процесу, неминучим стала поява методів розробки, заснованих на комп'ютерному моделюванні.

Прогрес автоматизованої розробки також привніс нову парадигму в проектування й аналіз. Насамперед, системи геометричного моделювання настільки просунулися вперед за останнє десятиліття, що сучасні CAD-системи здатні обробляти моделі деталей і агрегатів самої складної геометрії та конструкції. Агрегат можна відображати, оцінювати й модифікувати як єдине ціле, а його рух можна імітувати так само, як це робиться з фізичним прототипом.

Ще одне досягнення — це аналіз по методом кінцевих елементів. Він міг би стати засобом віртуальної оцінки надійності й технічних характеристик продукту, якби його обчислювальну ефективність можна було поліпшити настільки, щоб виводити результати в реальному часі. З його допомогою можна було б передбачати механічні властивості й характеристики (напруга, прогин, вібрація, температура, тиск у складних деталях) так, ніби вони вимірялися за допомогою різних експериментів.

Більше того, виробники CAD-систем у даний час намагаються об'єднати геометричне моделювання з методом кінцевих елементів. Така інтеграція забезпечила б безперервний плин циклу проектування й аналізу. Метод кінцевих елементів використовувався б первісно в процесі проектування для прийняття конструкторських рішень, що дозволило б заощадити дорогі час і витрати, пов'язані з перепроектуванням.

Ці тенденції в інженерній науці сходяться в новому понятті – *віртуальна інженерія (virtual engineering)*. По суті, віртуальна інженерія — це розробка, заснована на імітації. Прогрес сучасної імітаційної технології уможливив розв'язок таких завдань, як чисельне моделювання більшості механічних властивостей

систем й виявлення зіткнень між геометричними об'єктами в реальному часі.

Імітаційні технології дозволили успішно застосувати віртуальну інженерію в промисловості для покращення витрат часу й засобів на розробку. Область застосування віртуальної інженерії розширюється, і досягши зрілості, вона стане головною складовою процесу розробки.

Віртуальна інженерія (virtual engineering) – це імітаційний метод, що допомагає інженерам у прийнятті рішень та управлінні. Віртуальне середовище являє собою обчислювальну структуру, що дозволяє точно імітувати геометричні й фізичні властивості реальних систем.



Рисунок 10.1 – Віртуальна інженерія

Віртуальна інженерія включає імітацію різних видів інженерної діяльності, таких як машинна обробка, складання, управління виробничими лініями, огляд і оцінка (рис. 10.2), а також процес проектування.

Таким чином, віртуальна інженерія може охоплювати весь цикл розробки й виробництва продукту. Після того як змодельована деталь, імітується її машинна обробка й складання. Потім, також за допомогою імітації, зібраний прототип

тестується, і в його конструкцію вносяться необхідні зміни.



Рисунок 10.2 – Оцінка зручності салону автомобіля Ford

Коли прототип схвалений, імітується виробнича система і її функціонування. Прогнозуються також собівартість і графік поставок. У результаті цих імітацій виходить оптимізований кінцевий прототип і виробничі процедури, на основі яких потім реалізується фізична система.

Віртуальна інженерія дає зовсім новий підхід до інженерних завдань. Використання імітації усуне необхідність у дорогих фізичних прототипах і фізичних експериментах. Час розробки докорінно скоротиться, з'явиться можливість перевірити більшу кількість альтернативних варіантів конструкції, підвищиться якість кінцевого продукту.

Віртуальна інженерія забезпечить також чудовий інтерфейс для клієнта, дозволяючи йому заздалегідь побачити тривимірну модель продукту й запросити конструктивні зміни. Можна буде побудувати прототип продукту, який недоступний, занадто небезпечний або занадто дорогий для того, щоб створювати його в реальності (рис. 10.3). Така можливість буде неоціненна в автомобільній і авіаційній промисловості, де фізичні макети коштують дорого, час розробки великий, продукти вкрай складні й потрібен глибокий зворотний зв'язок від клієнтів



Рисунок 10.3 – Віртуальна оцінка планування салону майбутнього автомобіля

10.1 Компоненти віртуальної інженерії

До віртуальної інженерії існують різні підходи. Оскільки віртуальна інженерія – це відносно нова технологія, її термінологія й визначення ще не до кінця встоялися. У виробництві основним компонентом віртуальної інженерії є віртуальне виробництво.

Віртуальне виробництво (virtual manufacturing) – визначається як інтегроване синтетичне виробниче середовище, використовуване для розширення всіх рівнів прийняття рішень і керування. Воно може бути класифіковане як проектно-орієнтоване, виробничо-орієнтоване та управлінськи-орієнтоване.

Проектно-орієнтоване віртуальне виробництво – це імітаційне середовище для проектування продукту й оцінки можливості його виробництва. Виробничо-орієнтоване віртуальне виробництво – це імітаційне середовище для планування технологічних процесів і виробництва.

Управлінськи-орієнтоване віртуальне виробництво – це імітаційне середовище для моделювання функціонування виробничого цеху. Віртуальне виробництво можна також

класифікувати в термінах життєвого циклу продукту як віртуальне проектування, цифрову імітацію, віртуальне прототипування й віртуальний завод.

Віртуальне проектування виконується за допомогою пристроїв віртуальної реальності. Цифрова імітація дозволяє перевіряти й оцінювати роботу продукту без використання фізичних прототипів. У процесі віртуального прототипування будується комп'ютерний прототип, що має ту ж геометрію й фізичну поведінку, що й реальний продукт. Віртуальний завод — це імітація заводської виробничої лінії.

10.2 Віртуальне проектування

Віртуальне проектування виконується у віртуальному середовищі з використанням технологій віртуальної реальності (рис. 10.4).



Рисунок 10.4 – «Віртуальне компонування» моторного відсіку автомобіля «Пежо-206»

Віртуальне проектування зосереджується на альтернативному користувацькому інтерфейсі для процесу проектування. Використовуючи технології віртуальної

реальності, конструктори можуть поринути у віртуальне середовище, створювати компоненти, модифікувати їх, управляти різними пристроями й взаємодіяти віртуальними об'єктами в процесі конструкторської діяльності. Конструктори можуть бачити стереоскопічне зображення віртуальних об'єктів і чути просторовий реалістичний звук.

Ці зображення й звук виникають, коли рука конструктора рухає віртуальною рукою й пальцем. Дотик до віртуального об'єкта відчувається конструктором у вигляді образного зв'язку. Тим самим задум конструктора ефективно втілюється в проекті й перевіряється функціональна поведінка конструкції (рис. 10.5).



Рисунок 10.5 – «Віртуальна перевірка» зовнішньої оглядовості з місця водія

Основна мета віртуального проектування – дозволити конструкторові діяти інтуїтивно і природно. У системах геометричного моделювання, навіть притім, що сучасні CAD-системи надають витончені засоби моделювання, взаємодія конструктора з моделлю обмежена.

Можливості огляду обмежуються зображенням, спроектованим на монітор, а можливості введення інформації від

конструктора – точковими маніпуляціями з мишею.

Таким чином, у рамках CAD-технології сьогодення інженер-конструктор є «однооким та однопалим». Більш природня взаємодія, забезпечувана технологіями віртуальної реальності, дала б конструктору більшу волю і дозволила б йому підвищити креативність при створенні моделі.

Друга мета віртуального проектування – на ранніх стадіях проектування врахувати точку зору потенційного користувача продукту.

У процесі проектування можуть бути повною мірою оцінені такі якості, як доступність і керованість (рис. 10.6).



Рисунок 10.6 – Ергономічна оцінка компоновки робочого місця водія з використанням технології віртуальної реальності

Третя мета – урахувати при проектуванні досвід експертів у складанні або маніпулюванні деталями. Цей досвід складний і важко формалізується, але система віртуального проектування

може пролити світло на положення користувача, його взаємодію з об'єктами й послідовність операцій складання.

Віртуальне проектування вимагає зовсім іншого підходу до моделювання тривимірної геометрії. Наприклад, меню й кнопки можна замінити технологією розпізнавання мови або жестів. Якщо конструктор захоче змінити розміри моделі, то замість того щоб указати на неї, конструктор зможе узяти її в руки й розтягти. У зв'язку із процесом віртуального проектування неодмінно виникнуть нові методи проектування й схеми моделювання.

10.3 Цифрова імітація

Перевірка процесу – одна з найбільш важливих цілей цифрової імітації. Машинні операції необхідно ретельно перевірити, перш ніж починати реальну роботу. Якщо в керуючому коді є помилка, це може привести до серйозної поломки верстата. Використовуючи цифрову імітацію, користувач перед початком роботи може перевірити траєкторію переміщення інструмента верстата з ЧПУ, шупа координатно-виміральної машини або руки робота.

Наприклад, процесом машинної обробки можна управляти графічно, як це робилося б на реальному верстаті (рис. 10.7). Віртуальний верстат з ЧПУ, читаючи стандартні інструкції, буде виконувати всю обробку в реальному часі, включаючи переміщення інструментів, приналежностей, укладальників і деталей, безперервний контроль над зняттям матеріалу дозволяє користувачеві виявити ситуації, що приводять до вібрації й зламу інструмента, появи вибоїн та зарубувань. За допомогою імітації користувач може також спрогнозувати зіткнення між інструментом і пристосуванням або деталлю.

Візуалізація також допомагає інженерам краще зрозуміти систему. Вона дозволяє легко усвідомити ідею конструкції й заздалегідь перевірити її експлуатаційні якості. У цей час для цієї мети використовується головним чином кінематична імітація твердих тіл.

Імітація моделей більш високого рівня – смностей, людських істот і складних середовищ – вимагає моделювання фізичних ефектів, включаючи ефекти динаміки, вібрації, акустики й деформації. Однак складні імітації з використанням віртуальних

прототипів допоможуть здійснити перевірку робочих характеристик системи швидше з меншими витратами.

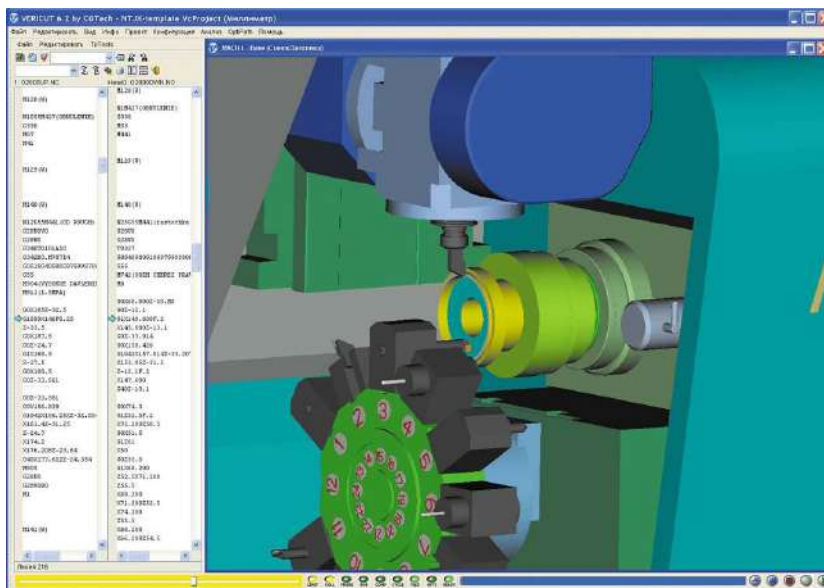


Рисунок 10.7 – Візуалізація процесу обробки деталі

10.4 Віртуальне прототипування

Віртуальним прототипуванням (virtual prototyping) – називають побудову прототипу агрегату з геометричних моделей його окремих частин (рис. 10.8).

Віртуальний прототип називають іноді цифровим макетом (digital mockup), або попереднім цифровим складанням (digital preassembly). Системи цифрового прототипування дозволяють візуалізувати процес складання й перевіряти можливість вироблення пропонуванних агрегатів у рамках наявних виробничих обмежень.

Шляхом складання віртуального прототипу можна виявити конструктивні прорахунки й внести зміни в проект, щоб реальне складання можна було виконати з першої спроби.

Основна функція віртуального прототипування полягає в перевірці здійсненності операції складання. Система перевіряє

сполучення деталей у контексті складальних обмежень і вимог до допусків.

Функції виявлення зіткнень вказують на те, чи заважають деталі одна одній. Перевіряється також послідовність складання й траєкторії руху деталей.



Рисунок 10.8 – Загальна оцінка «наживо» салону майбутнього автомобіля за допомогою технологій віртуальної реальності

Крім того, можна визначити оптимальні траєкторії складання. Передові системи дозволяють також проводити структурний і функціональний аналіз віртуального прототипу, використовуючи вбудоване аналітичне програмне забезпечення. Часто виконується кінематична й динамічна імітація прототипу.

Інженери зможуть засновувати конструкторські рішення на віртуальних прототипах. Оптимізація конструкції буде досягтися шляхом послідовного уточнення віртуального прототипу. Зі збільшенням ступеня детальності віртуального прототипування стане можливою більш точна структурна й функціональна імітація.

Ідеальна ситуація буде досягнута тоді, коли віртуальний прототип буде мати всю сукупність характеристик фізичного прототипу. Таким чином, зрештою віртуальне прототипування усуне необхідність у дорогих і трудомістких фізичних прототипах.

10.5 Віртуальний завод

Віртуальний завод (virtual factory) – це змодельована на комп'ютері повна виробнича система (рис. 10.9). Віртуальний завод імітує конструкції виробничих ділянок, виробничі процеси й складські системи.



Рисунок 10.9 – Віртуальний завод

Крім того, для нього можна програмувати автоматизоване заводське устаткування – роботи, конвеєри й верстати. Система моделює й імітує такі компоненти, як конвеєри, накопичувачі, доки, виробничі ділянки і процеси. Крім того, система моделює процедури – маршрути, послідовності й злиття. Після цього модель виробництва аналізується в термінах витрат на робочу силу, інвентаризації, експлуатаційних витрат, затрат на обробку й тривалості циклу.

Ці можливості дозволяють використовувати віртуальний завод для планування виробництва, включаючи оцінку проектів виробничих систем і порівняння альтернативних способів виробництва. Коли ця технологія досягне зрілості, за допомогою віртуального заводу можна буде імітувати весь ланцюг поставок, що дозволить оцінювати й оптимізувати весь процес управління ресурсами й виробництва.

10.6 Застосування віртуальної інженерії

Процес віртуальної інженерії починається з геометричних моделей, потім імітуються виробничі системи й наприкінці

виготовляється віртуальний прототип або віртуальний продукт. Оскільки на виході цей процес немає ніяких фізичних об'єктів, може здатися, що дії, виконувані в його рамках, фіктивні. Однак віртуальна інженерія є ефектним засобом проектування. Вона дозволяє випробувати різні варіанти конструкції й вибрати з них оптимальний до того, як почнеться реальне виробництво. Крім використання як засобу проектування, віртуальна інженерія має ряд застосувань у реальній виробничій діяльності.

Засіб проектування.

Віртуальна інженерія пропонує зовсім новий підхід до процесу проектування. Її принципово інший користувацький інтерфейс створює середовище проектування, що стимулює більшу інтерактивність і занурення в процес. Вона допомагає конструкторам краще зрозуміти особливості розроблюваного об'єкта й бути більш креативними. Крім того, вона дозволяє вже на ранніх стадіях урахувати в конструкції людські фактори.

У перевірці й оптимізації можуть допомогти цифрова імітація й віртуальне прототипування. Експлуатаційні характеристики однієї з потенційно можливих конструкцій можна оцінити за допомогою віртуального прототипування й цифрової імітації.

Можливість виробництва конструкції можна оцінити шляхом імітації процесу виробництва на віртуальному заводі. Маючи віртуальний прототип, можна зробити тонке корегування конструкції, аналізуючи його методом кінцевих елементів та іншими методами.

Повна імітація функціональності продукту може виявити конструктивні недогляди й можливі вдосконалення. Імітація експлуатаційних характеристик продукту і можливості його виробництва дає інженерам можливість ухвалювати правильні рішення в процесі проектування. Ітеративна процедура віртуального прототипування дозволяє досягти більш повної оптимізації проекту.

Ще один аспект процесу, який спрощує віртуальна інженерія, – це проектування «зверху вниз». Замість нинішнього підходу до проектування, при якому спочатку розробляються всі компоненти окремо, а потім вони з'єднуються, проектування «зверху вниз» починається із глобальних функціональних вимог, на основі яких

потім розробляється деталізована конструкція.

Таким чином, за відправну точку при проектуванні береться концептуальний проект, а на виході виходять детальні конструкції компонентів. На відміну від реальних прототипів, віртуальний прототип може бути зібраний навіть у тому випадку, коли немає пророблених у всіх подробицях компонентів.

Після оцінки проекту по віртуальному прототипу можна розробити докладні конструкції деталей на базі структури, заданої віртуальним прототипом. Такий підхід забезпечує більш інтуїтивний процес проектування на ранніх стадіях.

10.7 Оцінка можливості виробництва

Віртуальна інженерія дозволяє оцінювати можливість виробництва різних варіантів конструкції. Така оцінка подає інформацію про тривалість обробки, час циклу, витрати та якість продукту. Вона дозволяє також прогнозувати час підготовки до роботи, час виконання й витрати на робочу силу. Зрозуміло для такого роду оцінок потрібні вичерпні моделі виробничого процесу (рис. 10.10 а,б).

Потрібно ухвалити рішення, чи підходить дана конструкція для виробництва. Можна зробити також якісну оцінку можливості виробництва, що дозволяє охарактеризувати простоту виробництва. Якщо дана конструкція не підходить для виробництва, можна виявити й необхідним образом змінити атрибути конструкції, що є причиною утруднень.

10.8 Оцінка й контроль якості

Імітація тестування й процесу експлуатації дозволяє оцінити складання або експлуатаційні характеристики продукту. Імітація процесу експлуатації дозволяє виконати ряд статистичних тестів на моделі для визначення її чутливості до конструктивних і виробничих змін. Потім визначити індекс якості стосовно можливості виконання певного процесу або конструктивному допуску. Це дає оцінку якості до початку реального виробництва.

В процесі оцінки якості визначаються також основні фактори, що впливають на нього. Маючи цю інформацію, можна вдосконалити конструкцію, модифікуючи ті фактори, які були ідентифіковані, як ті що погіршують якість. Крім того, якість

продукту можна підвищити, поліпшивши виробниче устаткування.



а



б

Рисунок 10.10 – Моделювання виробничого процесу

Тому що ітеративний процес проектування є менш дорогим при використанні віртуальної системи, можна досліджувати весь спектр альтернативних варіантів конструкції для знаходження оптимуму.

Оцінка можливості виробництва й оптимізація конструкції дозволяють організувати реальний виробничий процес найбільш ефективним способом. Ці процедури приводять до створення краще спроектованого й виготовленого продукту з мінімальною кількістю дефектів.

10.9 Оцінка й оптимізація виробничого процесу

Цифрова імітація дозволяє перевіряти операції обробки на верстаті з ЧПУ, дії роботів і траєкторії вимірів за допомогою координатно-вимірної машини до початку реального виробництва. Траєкторія руху інструмента, руки робота або щупа, задані в плані процесу, візуалізуються й оцінюються за результатами імітації.

При імітації можна виявити й запобігти потенційні зіткнення й інші помилки. У якості альтернативи можна автоматично визначити траєкторію руху без зіткнень, тим самим уникнувши дорогих ушкоджень, які можуть виникнути в реальному процесі.

Крім загальної оцінки процесу, оцінка ключових його елементів дозволяє оптимально спланувати процес. До ключових елементів відносяться закріплення деталі, подача деталей, обробка компонентів і переміщення в процесі обробки.

10.10 Планування виробництва й продуктів

Імітація виробничої діяльності здійснюється шляхом моделювання окремих подій. Це дозволяє оцінити продуктивність, використовуваність устаткування, експлуатаційні витрати й потік матеріалів.

Можна також аналізувати статичні характеристики: час циклу, робочі зони механізмів, розміщення механізмів, доступність для керування й обслуговування, а також ефекти й взаємодію варіацій допуску. Імітаційне планування краще підходить для виробничих ліній, на яких увесь виробничий процес складається з подібних послідовностей дій.

Для імітації цехів, що випускають дрібні серії продукції різних типів з режимів технологічними маршрутами, необхідні більш просунуті системи.

Ще одне застосування віртуальної інженерії – планування продуктів. Сьогодні швидко мінливі ринки вимагають коротких періодів планування й швидкої доставки продуктів. Моделювання дозволяє миттєво оцінити витрати, цикл виробництва й графік доставки, не прибігаючи до фізичної реалізації. Використання імітаційного планування продуктів дозволить компанії ефективно реагувати на зміни ринку.

Інтерфейс для замовника.

Віртуальна інженерія дозволяє легко підбудувати продукт під вимоги замовника й точно оцінювати час доставки. Розробивши віртуальний продукт, можна продемонструвати клієнтові його тривимірну модель і зімітувати роботу прототипу.

Після цього в прототип можна внести зміни в інтерактивному режимі відповідно до вимог замовника, передати його прямо в інженерний відділ, а звідти в цех, тим самим прискорюючи виробництво.

Таким чином, побажання замовника виступають у якості безпосереднього зворотного зв'язка в процесі розробки продукту. Віртуальна інженерія надає інтерфейс, що дозволяє швидко й точно схоплювати бажання клієнта, завдяки чому виробник здатний більш ефективно реагувати на потреби клієнтів, як у термінах витрат, так і в сенсі своєчасності.

База знань.

Коли віртуальна інженерія стане повсякденною реальністю, можна буде систематично одержувати й аналізувати інформацію про виробничий процес. Керування виробничою інформацією має своїм завданням обробку всеосяжної інформації про безперервний оберт моделей та інструкцій з обробки на всьому протязі циклу розробки.

У сьогоднішньому фізичному середовищі експертні знання важко зафіксувати, крім того, відсутня чітка система обробки інформації про виробництво й розробку, тому попередній конструкторський досвід, не повністю відбивається в наступних поколіннях продуктів.

Віртуальна інженерія дозволяє ефективно накопичувати велику базу даних по експертних знаннях, зберігаючи й обробляючи всю наявну інженерну інформацію. Згодом дані із цієї бази знань і результати їх візуалізації можуть послужити керівництвом для інженерних аналітиків, що працюють у групах по проектуванню й модифікації продукту.

Колективна розробка.

Віртуальна інженерія забезпечує основу для колективної розробки. Інженери й конструктори, що працюють над тим самим проектом, можуть легко ділитися один з одним даними про продукт у цифровому виді. Використовуючи загальні віртуальні

середовища, інженери, що перебувають далеко один від іншого, можуть спільно й одночасно вивчати цифровий прототип.

Вони можуть працювати паралельно в контексті загальних виробничих вимог. Крім того, ці середовища дозволяють інженерам і конструкторам одержати більш глибоку уяву про продукт, підвищити його якість, скоротити інтервал до виходу продукту на ринок і із самого початку забезпечити правильність конструкції, знизивши потребу в дорогих переробках на більш пізніх стадіях процесу.

Рамки спільної роботи можна розширити за межі компанії, організувавши обмін інформацією про віртуальний продукт із постачальниками й партнерами, що дозволить встановити більш тісні зв'язки при розробці продукту.

10.11 Дослідницькі проблеми і обмеження віртуальної інженерії

Віртуальна інженерія це досить нова технологія. Вона має достатній потенціал для того, щоб стати значною складовою діяльності інженера, однак на сьогоднішній день функціональність і можливості застосування систем віртуальної інженерії обмежені.

Віртуальна інженерія – чисто програмна технологія, і тому сама по собі не вимагає якого-небудь спеціального устаткування. Однак для взаємодії з користувачем необхідне устаткування віртуальної реальності. Це устаткування містить у собі як пристрої введення, так і пристрої виводу. Пристрою виводу дають користувачеві відчуття від віртуального середовища.

Оскільки найефективніший спосіб сенсорного сприйняття – це зір, головними компонентами систем віртуальної реальності є пристрої відображення. Ці пристрої повинні забезпечувати користувачеві стереоскопічний огляд.

Доступне в даний момент устаткування включає головні дисплеї, бінокулярні всеспрямовані монітори, дисплеї просторового занурення й спеціальні окуляри. Звук і дотик збагачують відчуття від віртуальної реальності, коли вони використовуються в сукупності із зоровою системою.

Типовим прикладом звукової апаратури можуть служити навушники із просторово розширеною звуковою системою.

Апаратура дотику – це прилади із силовим зворотним зв'язком. Популярними пристроями введення є системи розпізнавання мови, відслідковуючі системи та інформаційні рукавички.

Щоб віртуальна інженерія перетворилася в розвинену технологію, необхідно одержати можливість повністю відтворити функціональну поведінку фізичних систем за допомогою комп'ютерної імітації.

Розглянемо деякі пов'язані із цим проблеми:

- **нові засоби проектування.** Віртуальне проектування надає принципово інше середовище для розробки. У ній зір є стереоскопічним, а взаємодія з моделлю конструкції здійснюється за допомогою декількох органів почуттів. Це нове середовище відкриває можливості для появи нових методів проектування й підходів до моделювання. У найближчому майбутньому конструктор буде мати можливість брати об'єкт у руки й розтягти його або створити й змінити модель за допомогою одного тільки голосу. Новий підхід до моделювання забезпечить більш природні й інтуїтивні способи створення моделей;
- **моделювання процесів і фізичних об'єктів.** У цей час можливості імітації зводяться головним чином до кінематики. Моделювання динамічних систем, деформованих систем і рідких систем звичайно вимагає аналізу методом кінцевих елементів, що віднімає велику кількість обчислювальних ресурсів. Щоб це мало якусь цінність як засіб віртуального проектування, даний аналіз необхідно робити в реальному часі. Щоб стала можливою імітація в реальному часі, необхідно компактне й точне моделювання. Більше того, моделі повинні містити в собі інформацію про свої фізичні властивості й експериментальні дані, що демонструють їхню фізичну поведінку;
- **можливості виробництва.** Виробничі процеси різні, кожний процес має свої власні унікальні характеристики. Таким чином, знайти якусь загальну метрику, що визначає можливість виробництва різних продуктів, представляється важким завданням. Необхідні дослідження визначень можливості виробництва й

- методології її оцінки. Крім простого рішення типу «так/ні» необхідно визначити кількісний захід можливості виробництва. Крім того, оцінку можливості виробництва необхідно трансформувати в оцінку тривалості виробничих процесів і витрат;
- **швидкодія системи.** У даний момент якість візуалізації й імітації сильно обмежується швидкістю системи. Завдяки експонентному росту швидкості обробки й прогресу технології розподілених обчислень якість імітації поліпшується. Однак швидкодія системи залишається все ще занадто низькою для повноцінного віртуального проектування. Для візуалізації потрібно деталізоване тривимірне відображення й анімація з високою частотою кадрів. Оцінка проекту включає аналіз динамічних систем і оптимізації, що вимагають більших обчислювальних ресурсів. Крім того, для забезпечення колективної розробки необхідно підвищити швидкість роботи мереж, розширити смугу пропускання й збільшити число каналів;
 - **стандарт інтерфейсу даних.** Віртуальне проектування містить у собі взаємодію різних пакетів прикладних програм. Моделювання деталі звичайно проводиться в САД-системі, аналіз – у програмі аналізу по методу кінцевих елементів, а комп'ютерна імітація – в інтерактивній системі імітації виробництва. Для колективної розробки необхідно, щоб ці різні системи працювали разом. Стандартні інтерфейси баз даних і програмного забезпечення є ключем до віртуального проектування;
 - **відкрита архітектура.** Відкрита архітектура надає системі масштабованість. Системи віртуального проектування необхідно поєднувати з наявними в даний момент інженерними системами для одержання додаткової функціональності або розв'язку різнотипних завдань. Відкрита архітектура дозволяє системі задіяти великий резерв інженерних ресурсів і знаходити різноманітні форми застосування.

Питання для самоперевірки

1. Що таке віртуальна інженерія
2. Що розуміють під віртуальною оцінкою продукту?
3. Назвіть переваги віртуальної інженерії стосовно процесу розробки продукту.
4. З яких компонентів складається віртуальна інженерія?
5. Яке найбільш поширене використання цифрових макетів в розробці продуктів?
6. Поясніть яким чином віртуальна інженерія стимулює колективну розробку.
7. Що таке віртуальне виробництво?
8. Розкажіть як здійснюється віртуальне проектування.
9. Для чого використовується цифрова імітація?
10. Що розуміють під віртуальним прототипуванням?
11. Що таке віртуальний завод?
12. Назвіть напрямки застосування віртуальної інженерії.
13. Які проблеми і обмеження застосування віртуальної інженерії ви можете назвати?

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров А. П. Основы САПР в машиностроении : Учебное пособие. Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2001. 139 с.
2. Ли Кунву Основы САПР (CAD / CAM / CAE). Спб. : Питер, 2004. 560 с.
3. Дементьев Ю. В. САПР в автомобиле- и тракторостроении : Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М : Академия, 2004. 224 с.
4. Яблочников Е. И., Фомина Ю. Н., Саломатина А. А. Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия : Учебное пособие. Спб. : СПбГУ ИТМО, 2010. 188 с.
5. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования : учеб. для вузов. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 430 с.
6. Пестрецов С. И. CALS-технологии в машиностроении : основы работы в CAD / CAE- системах : учебное пособие. Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 104 с.
7. Колчин А. Ф., Овсянников М. В. Управление жизненным циклом изделия. Москва : Анахарсис, 2003. 356 с.
8. NX для конструктора-машиностроителя / П. С. Гончаров и др. Москва : ДМК Пресс, 2010. 504 с.
9. Берлинер Э. М. САПР в машиностроении : учебник для вузов. Москва : ФОРУМ, 2008. 448 с.
10. Плешаков В. В. САПР процессов изготовления и ремонта колесных и гусеничных машин : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190201 – 'Автомобиле- и тракторостроение'. Москва : МГУПИ, 2007. 256 с.
11. Проектирование и конструирование в машиностроении : учебное пособие для вузов : в 2 частях / В. П. Бахарев и др. ; под ред. А. Г. Схиртладзе. – 2-е изд., перераб. и доп. Старый Оскол : ТНТ, 2009. – Ч. 1 : Общие методы проектирования и расчёта. Надёжность техники. 248 с.
12. Таратынов О. В. Технология машиностроения. Основы проектирования на ЭВМ : учебное пособие. Москва : ФОРУМ, 2011. 608 с.
13. Федотова Е. Л. Информационные технологии и системы :

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

Інформаційні ресурси

15. Описание САПР. URL: <http://seniga.ru/sapr.html> (дата звернення: 10.12.2021)
16. Система NX (колишня назва - Unigraphics) компанії Siemens. URL:
<https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/>.
(дата звернення: 23.09.2021)
17. Система CATIA. URL: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>. (дата звернення: 23.09.2021)
18. Система SolidWorks. URL: <https://www.solidworks.com>. (дата звернення: 23.09.2021)
19. Welcom to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. URL:
<https://www.ansys.com>. (дата звернення: 23.09.2021)
20. Система PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/ENGINEER) компанії PTC (Parametric Technology Corporation). URL:
<https://www.ptc.com/en/industries/automotive>. (дата звернення: 23.09.2021)
21. Система T-FLEX. URL: <http://www.tfex.ru/>. (дата звернення: 23.09.2021)
22. Система Autodesk Inventor. URL:
<https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>. (дата звернення: 23.09.2021)
23. Система AutoCAD URL:
<https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>. (дата звернення: 23.09.2021)
24. Система Solidedge компанії Siemens. URL:
<https://solidedge.siemens.com/ru/>. (дата звернення: 23.09.2021)

Навчальне видання

АРТЮХ Олександр Миколайович
ДУДАРЕНКО Ольга Василівна
КУЗЬМІН Віктор Володимрович
СОСИК Андрій Юрійович
ЩЕРБИНА Андрій Васильович

**ОСНОВИ САПР
В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ**

Навчальний посібник

Технічні редактори: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.
Комп'ютерний набір: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.
Комп'ютерна верстка: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.

Підписано до друку 30.12.2021. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 9,76.
Тираж 100 прим. Зам. № 1032.

Національний університет «Запорізька політехніка»
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6952 від 22.10.2019.