

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з курсу:
«САПР В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ»

*для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності
141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"*

Укладач:
канд. техн. наук, професор
Л. Г. Віхрова

Кропивницький 2023

Конспект лекцій з курсу «САПР в електроенергетиці» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / [уклад.: Л. Г. Віхрова], Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 74 с.

Автор:

Л. Г. Віхрова – канд. техн. наук, професор

Рецензент:

В. М. Каліч – канд. техн. наук, професор кафедри АВП

Затверджено
на засіданні кафедри
електротехнічних систем та
енергетичного менеджменту
Протокол № 13 від 13.02.2023 р.

Кропивницький, 2023

ЗМІСТ

ЛЕКЦІЯ 1. ВСТУП ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ	5
1.1 Поняття автоматизованого проектування	5
1.2 Структура САПР	6
1.3 Різновиди САПР	7
1.4 З історії розвитку САПР	9
1.5 Проблеми впровадження САПР	13
1.6 Загальні відомості про системи автоматизованого проектування в електроенергетиці	14
1.7 Основні цілі та завдання САПР	16
Контрольні запитання	20
ЛЕКЦІЯ 2. ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЗАСОБИ ПРОЕКТУВАННЯ	21
2.1 Вимоги до систем автоматизованого проектування	21
2.2 Призначення CAD/CAE/CAM-систем	22
2.3 Рівні CAD/CAE/CAM-систем	23
2.4 Модульність CAD/CAE/CAM-систем	25
2.5 Функції, властивості та приклади CAE/CAD/CAM-систем	27
2.6 Програмні мови	29
2.7 Поняття про CALS-технологію	29
2.8 Комплексні автоматизовані системи	31
Контрольні запитання	33
ЛЕКЦІЯ 3. МЕТА І ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ. СТРУКТУРА ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ	34
3.1 Складові підсистеми та технічні засоби САПР	34
3.2 Цілісність і комунікативність САПР	34
3.3 Головні принципи автоматизованого проектування	35
Контрольні запитання	35
ЛЕКЦІЯ 4. КЛАСИФІКАЦІЯ САПР	36
Контрольні запитання	38
ЛЕКЦІЯ 5. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ САПР	39
Контрольні запитання	42
ЛЕКЦІЯ 6. СКЛАД І СТРУКТУРА САПР	43
Контрольні запитання	50
ЛЕКЦІЯ 7. РІЗНОВИДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР	51
7.1 Математичне забезпечення САПР	53
7.2 Програмне забезпечення САПР	56

7.3 Інформаційне забезпечення САПР	60
7.4 Технічне забезпечення САПР	66
7.5 Лінгвістичне забезпечення САПР	68
7.6 Методичне забезпечення САПР	71
7.7 Організаційне забезпечення САПР	72
Контрольні запитання	72
ЛІТЕРАТУРА	74

ЛЕКЦІЯ 1

ВСТУП ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Поняття автоматизованого проектування

Під автоматизацією проектування розуміється такий спосіб виконання процесу розроблення проекту, коли проектні процедури й операції здійснюються розробником виробу за умови тісної взаємодії з ПК.

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

Розрізняють автоматизоване й автоматичне проектування.

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

Автоматичним є проектування, при якому всі перетворення описів об'єкта й алгоритму його функціонування, а також представлення опису на різних мовах здійснюються без участі людини.

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

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

1.2 Структура САПР

САПР складається з підсистем (рис. 1.1). Розрізняють підсистеми проектувальні й обслуговчі.

Проектувальні підсистеми безпосередньо виконують проектні процедури. Прикладами проектувальних підсистем можуть слугувати підсистеми геометричного тривимірного моделювання електричних об'єктів, виготовлення конструкторської документації, аналізу схемотехніки, трасування з'єднань у друкарських платах.

Обслуговчі підсистеми забезпечують функціонування проектуючих підсистем, їх сукупність зазвичай називають системним середовищем (або оболонкою) САПР. Типовими обслуговчими підсистемами є підсистеми керування проектними даними (PDM – Product Data Management), керування процесом проектування (DESPM – Design Process Management), призначеного для користувача інтерфейсу, для зв'язку розробників з ЕОМ, CASE (Computer Aided Software Engineering), для розроблення й супроводу програмного забезпечення САПР, навчальні підсистеми для освоєння користувачами технологій, реалізованих у САПР.

САПР складається із семи взаємопов'язаних засобів забезпечення:

– технічне (далі – ТЗ) – включає різні апаратні засоби (ЕОМ, периферійні пристрої, мережне комутаційне обладнання, лінії зв'язку, вимірювальні засоби);

– математичне (далі – МЗ) – об'єднує математичні методи, моделі й алгоритми для виконання проектування;

– програмне (далі – ПЗ) – представлене комп'ютерними програмами САПР;

– інформаційне (далі – ІЗ) – складається з баз даних (далі – БД), систем керування базами даних (далі – СКБД), а також інших даних, використовуваних при проектуванні; відзначимо, що вся сукупність використовуваних при

проектуванні даних називається інформаційним фондом САПР, а БД разом із СКБД має назву банку даних (далі – БНД);

– лінгвістичне (далі – ЛЗ) – виражається мовами спілкування між проектувальниками і ЕОМ, мовами програмування та мовами обміну даними між технічними засобами САПР;

– методичне (далі – МтЗ) – включає різні методики проектування, іноді до МтЗ відносять також математичне забезпечення;

– організаційне (далі – ОЗ) – представлене штатними розкладами, посадовими інструкціями та іншими документами, що регламентують роботу проектного підприємства.

Нижче докладніше розглядаються різновиди забезпечення САПР та їх взаємозв'язок.

1.3 Різновиди САПР

Серед найпоширеніших виокремлюють такі групи САПР:

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

2. САПР для радіоелектроніки. Їхні назви – ECAD (Electronic CAD) або EDA (Electronic Design Automation) системи.

3. САПР у сфері архітектури та будівництва.

Крім того, відома велика кількість більш спеціалізованих САПР, які або виокремлюються у вказаних групах, або становлять самостійну гілку в класифікації. Прикладами таких систем є САПР великих інтегральних схем (ВІС); САПР літальних апаратів, САПР електричних машин тощо.

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

– САПР функціонального проектування, інакше САПР-Ф або САЕ (Computer Aided Engineering) системи;

– конструкторські САПР загального машинобудування – САПР-К, зазвичай звані просто САД-системами;

– технологічні САПР загального машинобудування – САПР-Т, інакше звані автоматизованими системами технологічної підготовки виробництва (далі – АСТПВ) або системами САМ (Computer Aided Manufacturing).

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

За особливостями базової підсистеми розрізняють такі різновиди САПР:

1. САПР на базі підсистеми машинної графіки та геометричного моделювання. Ці САПР орієнтовані на додатки, де головною процедурою проектування є конструювання та визначення просторових форм і взаємного розташування об'єктів. Тому до цієї групи систем належать більшість графічних ядер САПР у сфері машинобудування. Нині з'явилися уніфіковані графічні ядра, вживані більш ніж у одній САПР, це ядра Parasolid фірми EDS I² mgraphics і ACIS фірми Intergraph.

2. САПР на базі СКБД. Вони орієнтовані на додатки, в яких у разі порівняно нескладних математичних розрахунків переробляється великий обсяг даних. Такі САПР переважно зустрічаються, наприклад, під час проектування бізнес-планів, але можуть бути також під час проектування об'єктів, подібних до щитів керування в системах автоматики.

3. САПР на базі певного прикладного пакету. Фактично це автономно використовувані програмно-методичні комплекси, наприклад, імітаційного моделювання виробничих процесів, розрахунку міцності за методом кінцевих елементів, синтезу й аналізу систем автоматичного керування тощо. Зазвичай

такі САПР належать до систем САЕ. Прикладами можуть слугувати програми логічного проектування на базі мови VHDL, математичні пакети типу MATHCAD.

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

1.4 З історії розвитку САПР

Стан та рівень розвитку теорії систем автоматизованого проектування (САПР) технічних об'єктів та електричних систем залежать, в першу чергу, від вимог, що пред'являються до результатів проектування. Останні визначаються наявними можливостями технологічної реалізації проектів та доступними засобами проектування. Зазначені фактори змінюються в ході науково-технічного прогресу і відповідно до цього вдосконалюється теорія проектування технічних об'єктів.

Історію розвитку САПР можна умовно розбити на кілька етапів.

До 30-х років ХХ століття – ручне індивідуальне проектування (відомі дуже древні індивідуальні проекти, виконані у III–II ст. до н.е.).

Індивідуальне проектування відіграло прогресивну роль у становленні технічних галузей, створенні якісно нових, високоефективних на той час технічних пристроїв та систем. Однак зі зростанням кількості типорозмірів, розширенням номенклатури виробів, що випускаються, і ускладненням їх конструкції індивідуальна норма проектування почала гальмувати розвиток промисловості.

Протиріччя між потребами промисловості та можливостями індивідуального проектування було усунуто шляхом переходу до нової форми проектування, яку прийнято називати ручним типовим проектуванням.

1940-50-ті роки - ручне типове проектування; у цей час з'являються методи групового проектування, агрегування та уніфікації.

Метод групового проектування полягає в тому, що проектується не один конкретно необхідний виріб, а ціле сімейство (параметричні ряди) конструктивно подібних виробів, що задовольняють усім існуючим та прогнозованим умовам їх використання. Завдяки однотипності об'єктів та процесів проектування продуктивність групового проектування параметричних рядів виробів значно вище, ніж за індивідуального проектування окремих виробів.

Сутність методів агрегування та уніфікації спочатку полягала в розробці мінімальної кількості типових конструктивних деталей і вузлів, які потім будуть багаторазово використані при проектуванні різних виробів. У подальшому уніфікація охопила всі сфери проектування, включаючи організаційні, і справила істотний вплив також на організацію спеціалізованих виробництв складових частин виробів. Завдяки агрегуванню та уніфікації підвищилася не тільки продуктивність праці проектувальників. З'явилися нові можливості підвищення надійності виробів шляхом реалізації принципів функціональної та монтажної взаємозамінності їх складових частин.

1960-ті роки – здійснено перехід до єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД), яка встановила єдині правила її оформлення.

Однак поряд з важливими перевагами типового проектування виявилися і його недоліки, пов'язані в основному з ручною формою обробки інформації. Впровадження методів уніфікації та стандартизації призвело до різкого скорочення частки творчої праці в роботі проектувальника. Використання численних довідників, стандартів та інших нормативних документів, а також типових проектних рішень значно збільшило трудомісткість проектування.

Одночасно з методами проектування отримали розвиток технічні засоби проектування. З'явилися арифмометри, швидкодіючі друкуючі пристрої, різні засоби швидкого розмноження проектної документації. Почалася механізація процесу проектування. Таким чином, можливості процесу проектування загалом різко зросли і при відповідному зростанні числа проектувальників виявилися в певний період достатніми для задоволення потреб промисловості в нових розробках.

1970-ті роки - початок широкого застосування ЕОМ та їх периферійних пристроїв як принципово нових технічних засобів автоматизації проектування. Частка рутинних робіт у проектуванні перевищила 60%, а терміни проектування зрівнялися з термінами виготовлення та випробувань. Збільшилася чисельність середньої ланки інженерно-технічних працівників, знизилася привабливість та престижність праці проектувальників. Постійно зростаючі потреби у нових проектних розробках не можна було задовольнити за допомогою пропорційного зростання проектних організацій за збереження форм типового проектування. Виникла необхідність у корінній перебудові форм проектування, спрямованої на підвищення якості проектів, скорочення термінів і трудомісткості проектування.

Застосування ЕОМ та їх периферійних пристроїв як принципово нових технічних засобів проектування стало основою для радикального перетворення процесу проектування.

1980-ті роки - з'явилася і почала стрімко наростати тенденція переведення розрахункових алгоритмів проектування на персональні ЕОМ.

При цьому:

– стали посилено розвиватися чисельні методи розрахунку диференційних рівнянь та нелінійних залежностей на ЕОМ;

– різко збільшилася продуктивність праці в розрахунковому проектуванні навіть на ПЕОМ першого покоління;

– виникла суперечність між можливістю ЕОМ розрахувати більшу кількість проектних варіантів та фізичною неможливістю проектувальника задавати (генерувати) ці варіанти. Це протиріччя було усунуто з появою ПЕОМ другого покоління, найпростіших обчислювальних мереж та розвитком кібернетичних методів прийняття рішень;

– повне заміщення промислових ЕОМ, незручних у програмуванні та експлуатації, персональними ПЕОМ;

– збільшення швидкодії та обсягу пам'яті ПЕОМ третього покоління у поєднанні з методами пошуку оптимуму дозволило перейти до вирішення низки оптимізаційних завдань проектування;

– скоротився час та підвищилася якість розрахункових проектів;

– поява ПЕОМ третього покоління, оснащених засобами машинної графіки та іншими інструментальними засобами, що дозволило автоматизувати не тільки розрахункові, а й конструкторсько-технологічні стадії проектування.

1990-й рік – створюються та розвиваються програмно-технічні засоби, орієнтовані на колективну діяльність проектувальників різного профілю (розрахунків, конструкторів, технологів), які не мають глибоких знань у програмуванні та обчислювальній техніці.

Інтерфейс САПР стає універсальним, аналогічним інтерфейсу основних офісних програм (Word, Excell).

2000 рік – вирішується проблема конвеєрної автоматизації всіх процесів розрахунку та проектування систем шляхом створення повністю мережевих САПР, оснащених спеціалізованими серверними станціями.

Стає можливим виконання великого обсягу проектних робіт невеликим колективом розробників.

2010-й рік – поява хмарних технологій, обумовлених наявністю необхідних WEB-ресурсів, дозволяє зробити САПР повністю мобільними, які не залежать від конкретного місця створення проекту: проектувальники можуть

знаходиться на великій відстані один від одного, але при цьому працювати у єдиній команді над одним проектом.

Системи автоматизованого проектування здійснили революцію в промисловості, скоротивши обсяг ручної праці, підвищивши точність конструювання, зменшивши кількість помилок, збільшивши продуктивність проектувальників і покращивши якість проектів.

1.5 Проблеми впровадження САПР

Як це зазвичай буває, вирішення проблем автоматизації проектних робіт викликало появу проблем іншого рівня складності:

1. Відсутні єдині стандарти САПР для проектної інформації. Повторне використання спроектованих раніше об'єктів та систем утруднено через несумісність форматів даних у різних САПР. За оцінкою Національного інституту стандартів та технології (США), через несумісність стандартів різних САПР одна тільки американська автомобільна галузь щорічно втрачає понад 1 млрд дол. Відомий скандал і з проектуванням лайнера Airbus A380, коли затримка у внесенні змін до електричної системи літака, викликані серед інших причин невідповідністю форматів, що призвело до багатомільярдних збитків.

2. Розробники різних САПР прагнуть закрити інформацію про використовувану файлову структуру, довільно змінювати, ускладнювати або навіть шифрувати її, що не дозволяє користувачам САПР самостійно створювати якісні конвертери для суміщення форматів або даних.

3. Складність освоєння нових версій САПР. Це пов'язано з декількома причинами:

– складні моделі, створені за допомогою попередньої версії САПР, який завжди правильно інтерпретуються у наступній;

– постійно розширюється функціонал САПР, тому при оновленні САПР необхідно переучувати фахівців, відриваючи їх від роботи;

– після кожного оновлення САПР доводиться виявляти старі помилки заново, і навіть винаходити способи їх обійти.

4. Не вирішено проблему передачі проекту виробу, розробленого САПР, у виробництво. Такий розрив може виникнути, якщо на підприємстві не залишилося грамотних конструкторів, які розуміють особливості проєктованих виробів та досвідчених технологів, які знають можливості свого виробництва.

Наявність цих проблем не знижує значення САПР, але показує, що процес удосконалення САПР продовжується.

1.6 Загальні відомості про системи автоматизованого проєктування в електроенергетиці

Сучасна система автоматизованого проєктування являє собою організаційно-технічну структуру, яка складається з комплексу засобів автоматизації на базі ПЕОМ та обчислювальних мереж, що пов'язують усі підрозділи проєктної організації до єдиного цілого.

Автоматизоване проєктування характеризується такими важливими перевагами:

– можливістю для практичного використання принципово нових методів проєктування (методів математичного моделювання, методів оптимізації, прийняття рішень тощо);

– використанням складних, але більш точних моделей об'єктів проєктування (електричних розподільчих мереж);

– можливістю аналізу великої кількості варіантів проєктних рішень;

– виключенням випадкових помилок при виконанні інженерних розрахунків та формування проєктної документації;

- багаторазовим зростанням продуктивності праці проектувальників та підвищенням якості проектів;
- творчим характером праці проектувальників.

При проектуванні об'єктів електроенергетики, що належать до різних підсистем (електричні мережі, електрична частина станцій і підстанцій, електропостачання промислових підприємств та ін), потрібно обробляти великий обсяг різноманітної інформації. Трудомісткість проекту різко зростає за необхідності пошуку найбільш оптимальних параметрів та режимів роботи систем електропостачання (СЕП) на основі багатоваріантних електричних та техніко-економічних розрахунків.

Ефективність прийнятого рішення багато в чому визначається кваліфікацією та досвідом проектувальників. Однак навіть досвідчені фахівці не застраховані від помилок та прийняття неоптимальних варіантів. При цьому традиційні способи вирішення проектних завдань призводять до невиправдано великих витрат праці і часу проектувальників на підготовку проектної документації.

При використанні САПР технічні рішення приймаються в режимі діалогу проектувальника з ЕОМ на основі математичного моделювання об'єктів проектування, що дозволяє:

- підвищити точність та виключити помилки у розрахунках;
- забезпечити вибір оптимального варіанту;
- прискорити підготовку проектної документації.

Побудова САПР об'єктів електроенергетики є досить складною проблемою, оскільки СЕП є ієрархічною і складається з великої кількості взаємозалежних елементів.

При впровадженні САПР потрібно передусім вирішити, для яких завдань проектування найефективніше її застосування. Ці завдання повинні мати математичні методи рішення, на основі яких розробляються алгоритми та програми для ЕОМ.

Під час створення САПР використовуються такі принципи:

- комплексний підхід до створення САПР;
- модульність структури та безперервність розвитку САПР;
- інформаційна єдність та повна керованість потоками інформації;
- інваріантність (компоненти САПР повинні бути по можливості універсальними і незмінними по відношенню до об'єктів проектування та використовуваної обчислювальної техніки);
- сумісність (технічна, інформаційна та програмна);
- використання новітніх методів вирішення завдань та комплексність їх вирішення;
- типізація та стандартизація використовуваних елементів та рішень;
- математична визначеність проектних завдань;
- наявність універсальної оптимізаційної підсистеми.

Тому будь-яке підприємство, що планує впровадження САПР, має відмовитися від індивідуальних методів проектування, зосередивши зусилля на швидкому переході проектних підрозділів на САПР.

1.7 Основні цілі та завдання САПР

Основними цілями створення САПР є:

- підвищення якості та техніко-економічного рівня проєктованих об'єктів на основі застосування математичних методів і моделей, що відображають специфічні особливості проєктованих об'єктів, алгоритмів, програм та сучасних засобів обчислювальної техніки, а також за рахунок застосування багатоваріантного проєктування та оптимізації;
- збільшення продуктивності праці проєктувальників шляхом автоматизації процесів пошуку, обробки та видачі інформації;
- скорочення термінів підготовки проектної документації та покращення якості її оформлення;

– підвищення частки творчої праці проєктувальників за рахунок автоматизації однотипних (рутинних) робіт, що повторюються.

Автоматизація процесу проєктування може застосовуватись на всіх чи окремих стадіях створення проєктної документації для об'єктів електроенергетики загалом чи його складових частин.

Найбільша ефективність від впровадження САПР досягається при автоматизації всього процесу проєктування - від постановки задачі і до випуску робочої проєктної документації. Використання САПР дозволяє скоротити терміни розробки проєктів у 3-4 рази і підвищити якість прийнятих рішень.

Наприклад, створення в САПР проєкту електропостачання 24-поверхової будівлі колективом з 3-х розробників займає 3-4 дні, раніше на це витрачалося до 4-х місяців.

Основними проєктними завданнями в галузі електроенергетики є такі:

1. Аналіз та вибір приймачів електроенергії (ПЕ).

Початкова інформація для вирішення цього завдання – вимоги технологічного процесу та технологічного обладнання, для забезпечення функціонування яких призначена СЕП (електропривод, електротермічні установки, світлотехнічне обладнання, пристрої та системи контролю роботи технологічних установок, спеціальне обладнання), а також довідково-нормативні дані з електроустаткування, за допомогою якого виконуються ці вимоги.

На базі переліку ПЕ складаються групи споживачів електроенергії та розраховуються навантаження окремих груп ПЕ на різних рівнях системи електропостачання з урахуванням усіх можливих режимів роботи, включаючи аварійні режими, вибираються відгалуження-розподільні пристрої (РУ) до електроприймачів, забезпечені пускозахисною апаратурою.

2. Вибір та розміщення вузлових точок СЕП.

При цьому виконується побудова структурної схеми СЕП (розподільної мережі), яка показує напрямки передачі електроенергії від джерел електричної енергії до споживачів.

Зазвичай ПЕ живляться електроенергією:

- на рівні енергосистеми – від джерел живлення (ІІ) через систему понижуючих трансформаторних підстанцій (ПС), пов'язаних з ІІ і між собою районними та місцевими електричними мережами високої напруги;

- на рівні СЕП промислових підприємств - від головних знижувальних підстанцій (ДПП) або розподільчих пунктів (РП), розподільчих пристроїв (РУ) і розподільчих пунктів, пов'язаних розподільчою мережею 6-10 кВ;

- на рівні внутрішньоцехового електропостачання – від цехових ТП (ЦТП), розподільчих та силових пунктів (СП).

У цілому зараз ПС, ГПП, РП, РУ, ЦТП, СП як і первинні, так і вторинні джерела, у межах структурних схем можна розглядати як вузлові точки, через які відбувається передача енергії від джерел до ПЕ.

Вибір та розміщення зазначених вузлових точок в основному залежить від трьох факторів:

- структурної схеми СЕП;
- розміщення споживачів електроенергії по території району чи підприємства;
- типової конфігурації електричної мережі (розімкнена, замкнута або суттєво розгалужена).

Всі три фактори при вирішенні цього завдання передбачаються відомими. Тоді безліч варіантів вибору та розміщення вузлових точок визначається допустимими зонами і трасами прокладки електричних мереж. Вибір кінцевого варіанту із зазначеної множини також є рішенням оптимізаційної задачі, що задовольняє критерію мінімуму наведених витрат, а також вимогам надійності

електропостачання. У найпростішому випадку за критерій оптимальності можна прийняти мінімум сумарної довжини електричних мереж.

3. Розробка принципів електричних схем.

Це завдання вимагає деталізації схем підстанцій та інших вузлових елементів СЕП шляхом вибору силового та комутаційного обладнання, виконання електричних мереж (повітряні, кабельні, струмопроводи, шинопроводи), кількості трансформаторів на ПС. Вибір, як правило, здійснюється на заданій множині відповідних елементів, що випускаються промисловістю, і типових схем підстанцій. В цілому завдання може мати ряд варіантів рішення і в загальному випадку також відноситься до класу оптимізаційних завдань. В результаті рішення повинні бути отримані принципові електричні схеми і повний перелік усіх елементів, що входять до схеми.

4. Вибір елементів та функціональний аналіз СЕП.

Після розробки принципів схем необхідно вибрати елементи ЕЕС - типи і потужність трансформаторів, типи і перерізу проводів і кабелів ЛЕП, а також трас їх прокладання, типи вимикачів та іншого підстанційного обладнання. Вибір елементів здійснюється по ряду технічних та економічних критеріїв (для провідників-економічної щільності струму, допустимого нагрівання розрахунковим струмом та ін, для силових вимикачів - робочого струму, комутаційної здатності та ін).

Вибір елементів супроводжується перевіркою працездатності схем СЕП з урахуванням вимог якості та надійності електропостачання робочих та аварійних режимах. Наприклад, при проектуванні електричних мереж енергосистеми потрібно перевірити виконання вимог до якості напруги у вузлах мережі в режимі мінімальних та максимальних навантажень, при проектуванні СЕП підприємств – до провалів напруги при короткочасних підвищеннях навантаження, пуску високовольтних електродвигунів або струмах короткого замикання на різних режимах.

Функціональний аналіз зазвичай здійснюється шляхом математичного моделювання роботи ЕЕС на ЕОМ.

Послідовне вирішення зазначених вище завдань визначає основний зміст етапів проектування. Завершуються ці етапи випуском проектної документації, передбаченої стандартом, в якій повинні бути відображені специфікація електрообладнання СЕП на рівні принципів однолінійних схем, схеми розміщення вузлових підстанцій у географічному просторі, принципів схем СЕП, плани розташування ЕП, розрахункові навантаження, розрахунок струмів коротких замикань, кабельні та кабельно-трубні журнали, техніко-економічне обґрунтування проекту.

Контрольні запитання

1. Наведіть визначення поняття автоматизованого проектування.
2. Чим відрізняється автоматичне проектування від автоматизованого?
3. Що таке САПР?
4. Назвіть структуру САПР.
5. Які різновиди САПР Ви знаєте?
6. На які етапи розбивають історію розвитку САПР?
7. Які проблеми впровадження САПР існують?
8. Які переваги характеризують автоматизоване проектування?
9. Які принципи використовують під час створення САПР?
10. Які основні цілі створення САПР?
11. Які основні проектні завдання в галузі електроенергетики?
12. Як здійснюється аналіз та вибір приймачів електроенергії?
13. Як здійснюється вибір та розміщення вузлових точок СЕП?
14. Як здійснюється вибір елементів та функціональний аналіз СЕП?
15. Чим завершуються етапи проектування СЕП?

ЛЕКЦІЯ 2

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЗАСОБИ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Вимоги до систем автоматизованого проектування

1. Удосконалення методів проектування, зокрема використання методів багатоваріантного проектування та оптимізації для пошуку ефективних варіантів і ухвалення рішень.

2. Підвищення частки творчої праці інженера-проектувальника.

3. Підвищення якості проектної документації.

4. Удосконалення керування процесом розроблення проектів.

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

6. Зменшення обсягу випробувань і доведення дослідних зразків унаслідок підвищення рівня достовірності проектних рішень і, отже, зниження тимчасових витрат.

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

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

2.2 Призначення CAD/CAE/CAM-систем

CAD/CAE/CAM-системи призначені для комплексної автоматизації проектування, конструювання та виготовлення продукції машинобудування.

У них фактично об'єднані три системи різного призначення, розроблені на єдиній базі, аббревіатури, які розшифровуються у такий спосіб:

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

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

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

– PDM – Product Data Management – системи керування проектними даними.

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

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

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

3. Конкретний опис обробки на обладнанні з ЧПК у вигляді керувальних програм уводиться в систему автоматизованого керування виробничим обладнанням, яку на Заході називають CAM.

CAE-системи.

Системи, використовувані для аналізу й оцінки функціональних властивостей проєктованих двигунів, їхніх систем, вузлів і деталей, охоплюють широке коло завдань моделювання пружно-напруженого, деформованого, теплового стану, коливань конструкції, стаціонарного та нестаціонарного газодинамічного і теплового моделювання з урахуванням в'язкості, турбулентних явищ, прикордонного шару тощо. Найпоширеніші CAE-системи, що використовують вирішення систем диференціальних рівнянь у приватних похідних методом кінцевих елементів (далі – МКЕ).

Вони поділяються на універсальні системи аналізу з використанням МКЕ і спеціалізовані. В авіадвигунобудуванні найвідоміші такі універсальні системи, як Nastran, Ansys, вітчизняні ІСПА, КОСМОС та інші, що дають змогу виконувати різні види аналізу на розподіленому рівні. Спеціалізовані системи МКЕ орієнтовані на певні різновиди аналізу. Прикладами таких систем можуть бути пакети Flotran, Fluid, призначені для моделювання гідрогазодинамічних процесів, OPTRIS – для моделювання деформацій тощо.

PDM-системи

Використовують на всіх етапах проєктування, даючи змогу здійснювати режим колективного проєктування, автоматизуючи функції управління, що обумовлюються цим режимом: призначення та забезпечення класу відповідальності, прав доступу, ведення бази даних проєкту тощо.

2.3 Рівні CAD/CAE/CAM-систем

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

Легкі системи. Це перший в історичному розвитку клас систем. Серед цієї категорії можна виокремити такі системи, як CAD-KEY, Personal Designer,

ADEM, T-Flex. Вони зазвичай використовуються на персональних комп'ютерах окремими користувачами. Такі системи призначені переважно для якісного виконання креслень. Вони можуть також використовуватися для двовимірного (2D) моделювання та нескладних тривимірних побудов.

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

Системи середнього класу. Це клас, що з'явився порівняно недавно, щодо недорогих тривимірних систем CAD. До нього належать системи AMD, Solid Edge, Solid Works, AUTOCAD, КОМПАС тощо. Їхня поява обумовлена із збільшенням потужності персональних комп'ютерів і розвитком операційної системи. За їхньою допомогою можна виконувати до 80 % типових машинобудівних завдань, не залучаючи великі й дорогі CAD/CAM-системи важкого класу.

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

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

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

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

2.4 Модульність CAD/CAE/CAM-систем

Сучасним системам CAD/CAM властивий модульний принцип побудови. Нижче перелічений склад базових модулів для CAD, CAM і PDM-систем.

Модулі CAD-систем:

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

Модулі CAM-систем:

- проектування технологічних процесів виготовлення продукції та оснащення;
- динамічний контроль процесу збирання;

- вибір параметрів холодного штампування (імітується весь процес штампування, зокрема «накладення» штампувальних пристроїв на поверхню деталі);

- створення та налаштування програм для верстатів із ЧПК (моделюється кінематика верстата, його робоча зона, стійка керування, заготовка, її кріплення та інструмент; на екрані детально відображується процес обробки);

- оптимізація параметрів процесів литва деталей із пластмас;

- модулі програмування для верстатів із ЧПК;

- створення, редагування та моделювання програм вимірювання та контролю відповідності деталі її об'ємної моделі за допомогою координатно-вимірювальної машини.

Модулі PDM-систем:

- керування загальною для розробників базою даних;

- інформаційно-пошукова система документування;

- автоматизований розподіл завдань між розробниками;

- завдання статусу кожного розробника;

- визначення структури інформаційних потоків;

- визначення комплексу документації;

- контроль змін;

- контроль виконання мережного план-графіка проекту;

- контроль повноти різнорідної інформації про виріб;

- геометричні дані (модель з розмірами та допусками);

- креслення;

- властивості матеріалів;

- специфікації;

- результати міцністних розрахунків;

- технологічні процеси виготовлення;

- програми для верстатів із ЧПК;

- вартість компонентів;

- фотореалістичні зображення тощо;
- автоматизоване створення звітів про проекти за цими даними;
- архівація.

Рівні архівації моделі виробу

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

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

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

2.5 Функції, властивості та приклади CAE/CAD/CAM-систем

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

Головні функції CAM-систем: розроблення технологічних процесів, синтез керувальних програм, для технологічного обладнання з числовим програмним керуванням (далі – ЧПК), моделювання процесів обробки, зокрема побудова траєкторій відносного руху інструменту та заготовлення в процесі обробки, генерація процесорів посту для певних типів обладнання з ЧПК (NC – Numerical Control), розрахунок норм часу обробки.

Функції CAE-систем досить різноманітні, оскільки вони обумовлюються проектними процедурами аналізу, моделювання, оптимізації проектних рішень. До складу машинобудівних CAE-систем насамперед належать програми для таких процедур:

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

Приклади систем моделювання полів фізичних величин відповідно до МКЕ: Nastran, Ansys, Cosmos, Nisa, Moldrflow. Приклади систем моделювання динамічних процесів на макрорівні: Adams і Dyna – у механічних системах, Spice – в електронних схемах, ПА9 – для багатоаспектного моделювання, тобто для моделювання систем, принципи дії яких базуються на взаємовпливі фізичних процесів різного походження.

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

Прикладами можуть бути об'єктно-орієнтоване інтерактивне середовище CAS CADE в системі EUCLID, яка містить бібліотеку компонентів, у САПР T-Kieх CAD 3/J передбачено розроблення доповнень у середовищах Visual O+/- і Visual Basic.

Важливе значення для забезпечення відкритості САПР, її інтегрованості з іншими автоматизованими системами (далі – АС) мають інтерфейси, що реалізуються в системі форматами міжпрограмних обмінів.

Очевидно, що передусім необхідно забезпечити зв'язки між САЕ, САД і САМ-підсистемами.

2.6 Програмні мови

Мови – формати міжпрограмних обмінів – використовуються IGES, DXF, Express (стандарт ISO 10303-11, входить у сукупність стандартів STEP), SAT (формат ядра ACIS) тощо.

Найперспективнішими вважаються діалекти мови Express, що пояснюється загальним значенням стандартів STEP, їхньою спрямованістю на різне застосування, а також на використання в сучасних розподілених проектних і виробничих системах. Дійсно, такі формати, як IGES або DXF описують тільки геометрію об'єктів, тоді як в обмінах між різними САПР і їхніми підсистемами фігурують дані про різноманітні властивості й атрибути виробів.

Мова Express використовується в багатьох системах інтерфейсу між CAD/CAM-системами. Зокрема, в систему CAD+ STEP включено середовище SDAI (Standard Data Access Interface), в якому можливе подання даних про об'єкти з різних систем CAD і додатків (але описаних за правилами мови Express). CAD++ STEP забезпечує доступ до баз даних більшості відомих САПР із наведенням даних у вигляді STEP-файлів. Інтерфейс програміста дає змогу відкривати й закривати файли проектів у базах даних, проводити читання та запис. Як об'єкти можуть використовуватися точки, криві, поверхні, текст, приклади проектних рішень, розміри, зв'язки, типові зображення, комплекси даних тощо.

2.7 Поняття про CALS-технологію

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

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

Оскільки під логістикою зазвичай розуміють дисципліну, присвячену питанням постачання та керування запасами, а функції CALS набагато ширше й обумовлюються з усіма етапами життєвого циклу промислових виробів, застосовують і більш розповсюджену розшифровку аббревіатури CALS – Continuous Acquisition and LifeCycle Support.

Застосування CALS дає змогу істотно зменшити обсяг проектних робіт, оскільки описи багатьох складників обладнання, машин і систем, що проектувалися раніше, зберігаються в базах даних мережних серверів, доступних будь-якому користувачеві технології CALS. Істотно полегшується вирішення проблем ремонтоздатності, інтеграції продукції різних систем і середовища, адаптації до змінних умов експлуатації, спеціалізації проектних організацій тощо.

Розвиток CALS-технології повинен призвести до появи так званих віртуальних виробництв, при яких процес створення специфікацій з інформацією для програмно-керованого технологічного обладнання, достатній для виготовлення виробу, може бути розподілений у часі й просторі між багатьма організаційно автономними проектними студіями. Серед безперечних досягнень CALS-технології варто назвати легкість розповсюдження передових проектних рішень, можливість багатократного відтворення частин проекту в нових розробках тощо.

Побудова відкритих розподілених автоматизованих систем для проектування та керування у промисловості становить основу сучасної CALS-технології. Головна проблема їх побудови – забезпечення одноманітного опису

й інтерпретації даних, незалежно від місця і часу їх отримання в загальній системі, що має масштаби аж до глобальних.

Структура проектної, технологічної та експлуатаційної документації, мови її подання повинні бути стандартизованими. Тоді стає реальною успішна робота над загальним проектом різних колективів, розділених в часі й просторі та які використовують різні CAE/CAD/CAM-системи. Та сама конструкторська документація може бути використана багато разів у різних проектах, а та сама технологічна документація адаптована до різних виробничих умов, що дає змогу істотно скоротити й здешевіти загальний цикл проектування та виробництва. Крім того, спрощується експлуатація систем.

Отже, інформаційна інтеграція є невід'ємною властивістю CALS-систем. Тому CALS-технологія базується на низці стандартів, що забезпечують таку інтеграцію.

Важливі проблеми, що потребують вирішення під час створення комплексних САПР, – керування складністю проектів та інтеграція програмного забезпечення (далі – ПЗ). Ці проблеми охоплюють питання декомпозиції проектів, розпаралелювання проектних робіт, цілісності даних, міжпрограмних інтерфейсів тощо.

2.8 Комплексні автоматизовані системи

Відомо, що часткова автоматизація зазвичай не дає очікуваного підвищення ефективності функціонування підприємств. Тому переважним є впровадження інтегрованих САПР, що автоматизують всі головні етапи проектування виробів. Подальше підвищення ефективності виробництва таконкурентоспроможності продукції можливе шляхом інтеграції систем проектування, керування та документообігу. Така інтеграція лежить в основі створення комплексних систем автоматизації, в яких, крім функцій САПР,

реалізуються засоби для автоматизації функцій керування проектуванням, документообігу, планування виробництва, обліку тощо.

CALS-технологія базується на низці стандартів і насамперед це стандарти STEP, а також Parts Library, Mandate, SGML (Standard Generalized Markup Language), EDIFACT (Electronic Data Interchange For Administration Commerce, Transport) тощо. Стандарт SGML визначає способи уніфікованого оформлення документів певного призначення – звітів, каталогів, бюлетенів тощо, а стандарт EDIFACT – способи обміну подібними документами.

Одна з найвідоміших реалізацій CALS-технології розроблена фірмою Computervision. Це технологія названа EPD (Electronic Product Definition) і орієнтована на підтримання процесів проектування та експлуатації виробів машинобудування.

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

Технологію EPD реалізують:

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

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

Контрольні запитання

1. Які вимоги до систем автоматизованого проектування існують?
2. Що таке CAD/CAE/CAM-системи? Як вони розшифровуються?
3. Для чого призначені CAD/CAE/CAM-системи?
4. Дайте характеристику рівням CAD/CAE/CAM-систем.
5. Як розподіляються CAD/CAE/CAM-системи за етапами технологічної підготовки виробництва?
6. Що таке модульність CAD/CAE/CAM-систем?
7. Які функції CAE/CAD/CAM-систем?
8. Які властивості CAE/CAD/CAM-систем?
9. Наведіть приклади CAE/CAD/CAM-систем.
10. Дайте характеристику програмним мовам САПР.
11. Дайте визначення поняттю CALS-технології.
12. Що таке комплексні автоматизовані системи?

ЛЕКЦІЯ 3

МЕТА І ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ. СТРУКТУРА ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ

3.1 Складові підсистеми та технічні засоби САПР

В організаційно-технічному плані безліч створюваних САПР розрізняються між собою архітектурою – набором складових підсистем (рис. 3.1) і технічними засобами, що забезпечують автоматизацію процесу проектування (рис. 3.2).

3.2 Цілісність і комунікативність САПР

САПР характеризується більш-менш розвиненим інтерфейсом «користувач – ЕОМ». Зазвичай ЕОМ виступає в ролі підказчика, автомата, що виконує з великою швидкістю задану послідовність операцій, ухвалення остаточного рішення залишається за людиною. САПР властиві дві ознаки: цілісність і комунікативність.

Цілісність САПР визначається інформаційним забезпеченням (рис. 3.3).

Інформаційне забезпечення – це розподілена система локальних баз даних, що здійснює інформаційну підтримку процесу проектування кожного об'єкта (деталі, вузла, збірки), починаючи з вибору технічного рішення та закінчуючи документуванням (оформлення робочих креслень, записки пояснення, керувальних перфострічок для верстатів із ЧПК).

У сенсі комунікативності САПР розглядають як складник в інтегрованій системі: АСКП – АСНД – САПР – АСТПВ, де: АСКП – автоматизована система керування підприємством;

АСНД – автоматизована система наукових досліджень;

АСТПВ – автоматизована система технологічної підготовки виробництва.

3.3 Головні принципи автоматизованого проектування

Будь-який з елементів САПР (див. рис. 3.1) є, зі свого боку, складною самостійною підсистемою.

Відомі такі принципи автоматизованого проектування:

- проектування «від загального до часткового»;
- максимальне використання готових проектних рішень;
- розумна доцільність використання ЕОМ для автоматизації окремих операцій;
- поступове пропорційне нарощування числа автоматизованих процедур, об'єктів інформаційних баз і потужності кількості засобів;
- максимальна автоматизація трудомістких нетворчих операцій.

Контрольні запитання

1. Що таке цілісність САПР?
2. Що таке комунікативність САПР?
3. Назвіть структуру технологічного забезпечення САПР.
4. З чого складається розподільна система локальної бази даних?
5. Які відомі принципи автоматизованого проектування?

ЛЕКЦІЯ 4

КЛАСИФІКАЦІЯ САПР

САПР характеризують такі ознаки: тип, різновид, складність об'єкта проектування; рівень, комплексність автоматизації проектування; сутність, число проектних документів; число рівнів у структурі технічного забезпечення САПР. Три перші ознаки відображають особливості об'єктів проектування, наступні чотири – можливості систем, восьма ознака – особливості технічної бази САПР. Для отримання навіть загального уявлення про певну САПР її потрібно оцінити за всіма переліченими ознаками.

Розглянемо їх докладніше.

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

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

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

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

Складність об'єкта проектування. Можна виокремити САПР:

- 1) простих об'єктів із числом складників до ста;
- 2) об'єктів середньої складності (сто...тисяча);
- 3) складних об'єктів (тисяча..10 тисяч);

4) дуже складних об'єктів (10...100 тисяч);

5) об'єктів дуже високої складності (число складників понад 100 тисяч).

Складником об'єкта проектування, що є технічним комплексом, спорудою або виробом, є деталь. Якщо об'єктом проектування буде технологічний процес, то виокремити його складники важче. Тут два підходи, один з яких базується на розділенні технологічного процесу на елементарні технологічні операції, інший – на розділенні об'єкта на частини умовно відповідно до номенклатури технологічної документації, яка випускається.

Рівень автоматизації проектування. Виокремлюють системи проектування:

- низькоавтоматизованого (до 25 % проектних процедур);
- середньоавтоматизованого (25...50 %);
- високоавтоматизованого (понад 50 %).

Щоб віднести САПР до третьої групи, у ній необхідно використати методи багатоваріантного оптимального проектування.

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

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

Кількість рівнів у структурі технічного забезпечення визначає такі різновиди САПР: однорівнева САПР – система, що базується на ЕОМ середнього або високого класу зі штатним набором периферійних пристроїв, який у разі необхідності можна доповнити засобами обробки графічної інформації; дворівнева САПР – система, що базується на ЕОМ середнього та високого класу й одного або декількох автоматизованих робочих місць (далі –

АРМ), що включають міні-ЕОМ; трирівнева САПР – система, побудована на основі ЕОМ високого класу, одного або декількох АРМ і периферійного програмно-керуючого обладнання (верстати з ЧПК, промислові роботи тощо).

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

Число проектних документів, що випускаються. Розрізняють САПР малої, середньої та високої продуктивності. При цьому число проектних документів за рік у перерахунку на формат А4 коливається від тисячі до мільйона.

Контрольні запитання

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

ЛЕКЦІЯ 5

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ САПР

Проектування – процес складання опису, необхідного для створення у заданих умовах, об'єкта який не існує, на підставі первинного опису цього об'єкта і (або) алгоритму його функціонування. Проектування охоплює комплекс робіт із вишукування, дослідження, розрахунків і конструювання, що мають на меті отримання опису предмета проектування, необхідного та достатнього для створення нового виробу або реалізації нового процесу, що задовольняє заданим вимогам. Проектування – це складний специфічний різновид творчої діяльності людини, заснований на глибоких наукових знаннях і творчому пошуку, використанні накопиченого досвіду і навичок у певній сфері, не позбавлений, проте, необхідності виконання трудомістких рутинних робіт.

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. Математичні моделі при цьому повинні задовольняти вимогам універсальності, адекватності, точності й економічності.

Для створення САПР необхідно:

- вдосконалення проектування на підставі застосування математичних методів і засобів обчислювальної техніки;
- автоматизація процесу пошуку, обробки й видачі інформації;
- використання методів оптимізації та багатоваріантного проектування;
- застосування ефективних математичних моделей проєктованих об'єктів, комплектувальних виробів і матеріалів;
- створення банків даних, що містять систематизовані довідкові відомості, необхідні для автоматизованого проектування об'єктів;
- підвищення якості оформлення проектної документації;

- збільшення творчої частки праці проєктувальників шляхом автоматизації нетворчих робіт;
- уніфікація та стандартизація методів проєктування;
- підготовка та перепідготовка фахівців у сфері САПР;
- взаємодія проєктних підрозділів з автоматизованими системами різного рівня і призначення.

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

Головна функція САПР – виконання автоматизованого проєктування на всіх або окремих стадіях проєктування об'єктів і їхніх складників. Під час створення САПР на різних стадіях, а також її підсистем і компонентів необхідно враховувати такі положення і принципи. Принцип системної єдності САПР полягає в тому, що для розроблення, функціонування та розвитку САПР зв'язку між підсистемами необхідно забезпечити цілісність всієї системи. Найбільший ефект від САПР досягається за умови комплексної автоматизації проєктування на всіх рівнях.

Останнє дає змогу виключити багатократний опис інформації про об'єкти проєктування, забезпечивши її спадкоємність для різних підсистем. Принцип сумісності компонентів САПР полягає в тому, що мови, символи, коди, інформаційні й технічні характеристики структурних зв'язків між підсистемами, засобами забезпечення САПР повинні забезпечувати сумісне функціонування підсистем. Особливо важливою є інформаційна і програмна узгодженість окремих підсистем. Отже, інформаційна сумісність забезпечує роботу різних підсистем із тією самою базою даних і єдиною вхідною мовою.

Принцип стандартизації САПР полягає у проведенні уніфікації, типізації та стандартизації підсистем і компонентів, інваріантних до проєктованих об'єктів, а також у визначенні правил із метою впорядкування діяльності в сфері створення та розвитку САПР. Уніфікація програмного, лінгвістичного, технічного та інших різновидів забезпечення відкриває широку можливість впровадження САПР і її адаптації на різних підприємствах.

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

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

Принцип узгодженості автоматизованого (традиційного) проєктування та САПР необхідно враховувати при впровадженні САПР на підприємстві, що вже діє, зі складеною структурою, взаєминами, формами й способами використання проєктної документації. Впровадження САПР не повинне порушувати на тривалий час нормального функціонування підприємства. Принцип ієрархічності реалізує комплексний підхід до автоматизації всіх рівнів проєктування. Варто особливо підкреслити доцільність забезпечення комплексності САПР, оскільки автоматизація проєктування на одному з рівнів з умови збереження старих форм проєктування на сусідніх рівнях виявляється значно менш ефективною, ніж повна автоматизація всіх рівнів. Ієрархічна

побудова належить не тільки до спеціального програмного забезпечення, але і до технічних засобів САПР, що розділяються на центральний обчислювальний комплекс і автоматизовані робочі місця проектувальників.

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

Контрольні запитання

1. Що таке проектування?
2. Яка істотна перевага машинних методів проектування?
3. Які умови необхідно виконати для створення САПР?
4. Визначте головну функцію САПР.
5. Перелічте і схарактеризуйте принципи побудови САПР.
6. В чому полягає принцип системної єдності САПР?
7. В чому полягає принцип сумісності компонентів САПР?
8. В чому полягає принцип стандартизації САПР?
9. В чому полягає принцип незалежності окремих підсистем САПР?
10. В чому полягає принцип відвертості САПР?
11. В чому полягає принцип узгодженості автоматизованого проектування?
12. В чому полягає принцип ієрархічності САПР?
13. В чому полягає принцип розвитку САПР?

ЛЕКЦІЯ 6

СКЛАД І СТРУКТУРА САПР

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

За призначенням підсистеми розподіляють на два різновиди: проектувальні та обслуговуючі.

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

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

Стосовно об'єкта проектування розрізняють два різновиди проектувальних підсистем: об'єктно-орієнтовані (об'єктні); незалежні (інваріантні).

До об'єктних належать підсистеми, що виконують одну або декілька проектних процедур або операцій, безпосередньо залежних від певного об'єкта проектування. Інваріантними називають підсистеми, що виконують уніфіковані проектні процедури й операції.

У наведених вище визначеннях використані поняття «проектна процедура» і «операція», з яких формуються різні підсистеми і САПР загалом.

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

Проектною операцією називають дію або формалізовану сукупність дій, складників проектної процедури, алгоритм яких залишається незмінним для низки проектних процедур.

Уніфікована проектна процедура – процедура, алгоритм якої залишається незмінним для різних об'єктів проектування або різних стадій проектування того самого об'єкта.

Системна єдність САПР забезпечується наявністю комплексу взаємопов'язаних моделей, що визначають об'єкт проектування загалом, а також комплексом системних інтерфейсів, що здійснюють вказаний взаємозв'язок. Системна єдність усередині проектувальних підсистем забезпечується наявністю єдиної інформаційної моделі тієї частини об'єкта, проектне рішення по якій необхідно отримати в цій підсистемі.

Формування та використання моделей об'єкта проектування у прикладних завданнях за допомогою здійснюється комплексів (далі – КСАП) системи (або підсистеми).

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

Різновиди комплексів засобів і компонентів САПР (рис. 6.1).

Комплекси засобів підрозділяють на комплекси засобів одного різновиду забезпечення (технічного, програмного, інформаційного тощо) і комбіновані.

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

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

Залежно від призначення ПМК підрозділяють на загальносистемні, базові, зокрема проблемно-орієнтовані й об'єктно-орієнтовані. Програмно-технічний комплекс є взаємопов'язаною сукупністю ПМК із комплексами і (або) компонентами технічного забезпечення.

Залежно від призначення ПТК розрізняють АРМ; центральні обчислювальні комплекси (далі – ЦБК). Комплекси засобів можуть об'єднувати свої обчислювальні й інформаційні ресурси, утворюючи локальні обчислювальні мережі підсистем або систем загалом.

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

Компоненти різновидів забезпечення виконують задану функцію та є найменшим (неподільним) самостійно розроблюваним елементом САПР (наприклад програма, інструкція, дисплей тощо). Ефективне функціонування КСАП і взаємодію структурних частин САПР всіх рівнів досягається за допомогою орієнтації на стандартні інтерфейси і протоколи зв'язків, що забезпечують взаємодію комплексів засобів.

Ефективне функціонування КСАП досягається шляхом взаємоузгодженого розроблення компонентів, які входять до складу комплексів засобів.

КСАП обслуговуючих підсистем, а також окремі ПТК цих підсистем можуть використовуватися за умови функціонування всіх підсистем. Загальносистемні ПМК включають програмне, інформаційне, методичне та інші різновиди забезпечення. Вони призначені для виконання уніфікованих процедур з керування, контролю, планування обчислювального процесу, розподілу ресурсів САПР і реалізації інших функцій, що є загальними для підсистем або САПР загалом.

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

Моніторні системи керування функціонуванням технічних засобів у САПР. Головними функціями моніторних систем такі: формування завдань із контролем пакету завдань, необхідних і наявних ресурсів, права доступу до бази даних зі встановленням пріоритету та номера черги; обробка директив мов керування завданнями, а також реакція на переривання з перехопленням управління, аналізом причин і їх інтерпретацією в термінах, зрозумілих проектувальнику; обслуговування потоків завдань з організацією діалогового й інтерактивно-графічного супроводу в умовах паралельної роботи підсистем; керування проектуванням в автоматичних режимах з аналізом якості виконання проектних операцій, перевіркою критеріїв повторення етапу або продовження маршруту, вибором альтернативних варіантів маршруту; ведення та оптимізація статистики експлуатації системи; розподіл ресурсів САПР з урахуванням пріоритетів завдань, завдань і підсистем, планових завдань і поточних вказівок і запитів; захист ресурсів і даних від несанкціонованого доступу та непередбачених дій.

Інформаційно-пошукові системи (далі – ІПС) у САПР виконують функції: заповнення інформаційного фонду (інфотеки) відомостями; арифметичну обробку цифрових даних і лексичну обробку текстів; обробку інформаційних запитів із метою пошуку необхідних відомостей; обробку вихідних даних і формування вихідних документів. Особливості ІПС полягають у тому, що запити до них формуються не програмним шляхом, а безпосередньо користувачами, і не на формальній мові, зрозумілій монітору, а на природній мові у вигляді послідовності ключових слів – дескрипторів.

Перелік дескрипторів, що містяться у всіх прийнятих на зберігання описах, складає словник дескрипторів, або тезаурус, призначений для формування пошукових розпоряджень.

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

Банки даних (далі – БнД) є найвищою формою організації інформації у великих САПР. Вони є проблемно-орієнтованими інформаційно-довідковими системами, що забезпечують уведення необхідної інформації, незалежні від конкретних завдань ведення та збереження інформаційних масивів і видачі необхідної інформації за запитом користувачів або програм. У банках даних використовується інформація фактографічного вигляду.

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

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

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

Програмно-методичні комплекси машинної графіки забезпечують взаємодію користувача з ЕОМ для обміну графічною інформацією, вирішення геометричних завдань, формування зображень і автоматичного виготовлення графічної інформації. Графічна взаємодія користувача з ЕОМ (так званий графічний метод доступу) базується на підпрограмах введення-виведення, які забезпечують прийом і обробку команд від пристрою введення-виведення і видачу керувальних дій на ці пристрої.

Виконання геометричних завдань (геометричне моделювання) зводиться до перетворення графічної інформації, яке є виконанням у тій або іншій послідовності елементарних графічних операцій типу зрушення, поворот, масштабування тощо. Для геометричного моделювання використовується ПМК, в якому окрім окремих елементарних графічних операцій, можуть бути реалізовані графічні перетворення тривимірних зображень, процедури побудови проєкцій, перетинів тощо. У ПМК графічних перетворень зазвичай передбачаються засоби для формування деяких часто використовуваних зображень, керування графічною базою даних, налагодження графічних підпрограм.

Діалоговий режим забезпечується за допомогою програмно-методичних комплексів, які здійснюють уведення, контроль, редагування, перетворення та виведення графічної і/або символічної інформації. Діалогове віддалене введення завдань забезпечує введення і редагування завдань через канали зв'язку, виконання завдань у пакетному режимі й виведення результатів через лінії зв'язку на віддалені термінали. У САПР можуть використовуватися як діалогові

ПМК загального призначення, так і спеціалізовані. ПМК загального призначення доцільно застосовувати на початкових стадіях створення й експлуатації САПР для відробітку та перевірки методології проектування, технології обробки даних і прикладних програм. Надалі можлива модифікація ПМК з урахуванням специфічних вимог з організації діалогу в САПР. При цьому необхідно враховувати наявність діалогового або пакетного режиму обробки запитів; орієнтацію системи на користувача-непрограміста; можливість розширення системи шляхом включення діалогових прикладних програм на мовах високого рівня; можливість керування діалогом за допомогою «меню» і директив, бажаність спілкування на рідній мові тощо.

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

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

Об'єктно-орієнтовані ПМК відображують особливості об'єктів проектування як сукупність наочної сфери. До таких ПМК, наприклад, належать ПМК, що підтримують автоматизоване проектування складальних одиниць; проектування деталей на підставі стандартних або запозичених рішень; деталей на підставі синтезу їх з елементів форми; технологічних процесів за різновидами обробки деталей тощо.

Контрольні запитання

1. Назвіть структурну схему САПР.
2. На які різновиди розподіляють підсистеми САПР?
3. Які підсистеми належать до проектувальних?
4. Які підсистеми належать до обслуговуючих?
5. Які різновиди проектувальних систем розрізняють стосовно об'єкта проектування?
6. Які підсистеми належать до об'єктних?
7. Що таке проектна процедура та операція?
8. Що таке комплекс засобів САПР?
9. Які різновиди комплексів і компонентів Ви знаєте?
10. Схарактеризуйте структурні частини комплексів САПР.
11. Що таке програмно-методичний комплекс?
12. Що таке програмно-технічний комплекс?
13. Що включають загальносистемні ПМК?
14. Для чого призначені загальносистемні ПМК?
15. Наведіть приклади загальносистемних ПМК.
16. Які головні функції моніторних систем?
17. Які функції виконують інформаційно-пошукові системи?
18. Що таке дескриптор та тезаурус?
19. Дайте характеристику банку даних.
20. Дайте характеристику системам керування банками даних.
21. Які функції виконує СКБД?
22. Що забезпечують ПМК машинної графіки та геометричного моделювання?
23. Як забезпечується діалоговий режим?
24. Що включають проблемно-орієнтовані ПМК?
25. Що відображають об'єктно-орієнтовані ПМК?

ЛЕКЦІЯ 7

РІЗНОВИДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

Комплекс засобів автоматизації проектування сучасних САПР включає сім різновидів забезпечення: технічне, математичне, програмне, інформаційне, лінгвістичне, методичне, організаційне (рис. 7.1).

Технічне забезпечення – сукупність взаємопов’язаних і взаємодієвих технічних засобів, призначених для виконання автоматизованого проектування. До цього різновиду забезпечення належать різні технічні засоби: ЕОМ, периферійне обладнання і пристрої їхнього зв’язку.

Математичне забезпечення – сукупність математичних методів, математичних моделей і алгоритмів проектування, необхідних для виконання автоматизованого проектування. До математичного забезпечення належать математичні моделі певних об’єктів (технологічних процесів, інструментів, пристроїв тощо), методи їх проектування, а також методи й алгоритми виконання різних інваріантних проектних операцій і процедур, обумовлених оптимізацією, пошуком інформації, автоматизованою графікою тощо.

Програмне забезпечення – сукупність машинних програм, необхідних для виконання автоматизованого проектування і поданих у заданій формі. Це забезпечення охоплює комплекси програм спеціального та загального призначення.

Спеціальне програмне забезпечення подається у вигляді текстів прикладних програм, орієнтованих на виконання спеціальних завдань (виконання завдань динаміки, міцності; проектування маршрутних і операційних технологічних процесів, технічне нормування; проектування стандартних деталей і оснащення тощо).

Загальне програмне забезпечення призначене для керування обчислювальним процесом у САПР і підготовки програм із ПП до виконання на

ЕОМ. Ці функції зазвичай виконують програми, що входять до складу операційних систем ЕОМ.

Інформаційне забезпечення – сукупність відомостей, необхідних для виконання автоматизованого проектування та поданих у заданій формі. Основну частину інформаційного забезпечення становить база даних – інформаційні масиви, використовувані більш ніж в одній програмі проектування. У процесі функціонування САПР база даних поповнюється, коректується і, крім того, проводиться її захист від неправильних змін. Усі ці функції виконує система керування базою даних (далі – СКБД). База даних спільно з СКБД утворює банк даних.

Лінгвістичне забезпечення – сукупність мов проектування, яка включає, крім того, терміни та визначення, правила формалізації природної мови, методи стиснення та розгортання текстів, необхідних для автоматизованого проектування і поданих у заданій формі. У цей різновид забезпечення входять загальновідомі алгоритмічні мови (ПАСКАЛЬ, БЕЙСІК, СІ, С++ тощо), використовувані для запису програм під час створення САПР, і вхідні мови, які слугують для опису об'єктів проектування і завдань на виконання проектних процедур.

Методичне забезпечення – сукупність документів, що визначає склад, правила відбору й експлуатації засобів забезпечення автоматизованого проектування, необхідних для виконання проектних завдань.

Організаційне забезпечення – сукупність документів, що визначає склад проектної організації та її підрозділів, зв'язки між ними, їхні функції, а також форму представлення результату проектування і порядок розгляду проектних документів.

7.1 Математичне забезпечення САПР

Математичне забезпечення (далі – МЗ) САПР складається із сукупності математичних моделей об'єктів проектування, методів і алгоритмів виконання проектних операцій і процедур. Основу математичного забезпечення САПР становить математичний апарат для моделювання, синтезу структури, одноваріантного і багатоваріантного аналізу, структурної та параметричної оптимізації. Елементи математичного забезпечення в САПР дуже різноманітні. Розроблення математичного забезпечення є найскладнішим етапом створення САПР, від якого найбільшою мірою залежать продуктивність і ефективність функціонування САПР загалом.

Математичне забезпечення складається з двох частин: спеціальне МЗ та інваріантне МЗ. Спеціальне МЗ відображає специфіку об'єкта проектування, фізичні та інформаційні особливості його функціонування і тісно пов'язане з певним завданням проектування. Ця частина математичного забезпечення охоплює математичні моделі, методи й алгоритми їх отримання, алгоритми одноваріантного аналізу, а також велику частину використовуваних алгоритмів синтезу.

Інваріантне МЗ включає методи й алгоритми, що формують усю логіку технології проектування, зокрема логіку взаємодії проектувальників один з одним на підставі використання засобів автоматизації. Це – методи й алгоритми багатоваріантного аналізу та параметричної оптимізації.

Математичне забезпечення САПР повинне описувати у взаємозв'язку об'єкт, процес і засоби автоматизації проектування. У процесі створення математичного забезпечення САПР необхідно

враховувати такі показники: універсальність, алгоритмічна надійність, точність, витрати машинного часу, об'єм використовуваної пам'яті. Універсальність МЗ визначає його застосовність до широкого класу проєктованих об'єктів. Особливо це важливо для створення комплексних

САПР, що включають різні види завдань: від конструювання виробу і проектування технологічних процесів до вибору різального інструмента і проектування конструкцій спеціального оснащення на підставі аналізу типових технологічних рішень. При цьому може використовуватися єдина група стандартних програм.

Універсальність МЗ спрощує методику автоматизованого проектування. Водночас варто зазначити, що універсальність не має кількісної оцінки. Реалізуючи ту або іншу модель і метод, розробник МЗ повинен вказати чіткі межі їх застосовності.

Алгоритмічна надійність – властивість компоненту МЗ давати під час його застосування та заздалегідь певних обмеженнях правильні результати. Кількісною оцінкою алгоритмічної надійності є вірогідність отримання правильних результатів за умови дотримання обумовлених обмежень на застосування методу. Якщо ця вірогідність дорівнює одиниці або близька до неї, то метод вважається алгоритмічно надійним.

З алгоритмічною надійністю тісно пов'язана проблема обумовленості математичних моделей і завдань. Про погану обумовленість говорять у випадках, коли малі похибки початкових даних призводять до великих похибок результатів. Унаслідок цього не тільки зменшується точність результатів проектування, але і збільшуються витрати машинного часу. Для аналізу й оптимізації об'єктів із погано обумовленими моделями потрібно застосовувати спеціальні методи з підвищеною алгоритмічною надійністю.

Точність є найважливішою властивістю всіх компонентів МЗ, визначає ступінь збігу розрахункових і дійсних результатів. Алгоритмічно надійні методи можуть давати різну точність. І тільки у випадках, коли точність виявляється гіршою гранично допустимих значень або рішення взагалі неможливо отримати, говорять не про точність, а про алгоритмічну надійність.

Зазвичай вирішення проектних завдань характеризується сумісним використанням багатьох компонентів МЗ, що ускладнює оцінку впливу

похибки окремих компонентів. За необхідності оцінки їхньої точності проводять обчислювальні експерименти з використанням тестових завдань.

Витрати машинного часу здебільшого визначаються складністю проєктованих об'єктів і розмірністю вирішуваних завдань. Машинний час обчислювального процесу є головним обмежувальним чинником при спробах підвищити складність проєктованих на ЕОМ об'єктів.

Одним зі шляхів скорочення термінів проєктування є застосування в САПР багатопроцесорних обчислювальних систем, що забезпечують розпаралелювання процесу обчислення. У зв'язку з цим найважливішим показником економічності МЗ є його пристосованість до розпаралелювання процесу проєктування.

Використовувана пам'ять є другим після витрат машинного часу показником економічності МЗ. Витрати пам'яті визначаються довжиною програми й обсягом використовуваних масивів даних. Не зважаючи на значне збільшення ємкості оперативної пам'яті в сучасних ЕОМ, вимоги до зниження витрат пам'яті залишаються актуальними. Це обумовлюється з тим, що в мультипрогравному режимі функціонування ЕОМ завдання із запитом більшого обсягу пам'яті отримує нижчий пріоритет, у наслідок час її перебування в системі збільшується і продуктивність процесу проєктування знижується.

Для економії витрат оперативної пам'яті використовують зовнішню пам'ять (накопичувачі на магнітних дисках, стрічках, дискетах). Проте часті звернення до зовнішньої пам'яті призводять до збільшення витрат машинного часу, тому для розроблення методів проєктування, алгоритмів і програм доведеться вирішувати питання раціонального використання двох різновидів пам'яті ЕОМ – внутрішньої (оперативної) і зовнішньої.

7.2 Програмне забезпечення САПР

Програмою називають закінчену сукупність команд, необхідних для виконання певного завдання. Програмування – це процес складання такої програми.

Програмне забезпечення (далі – ПЗ) – сукупність машинних програм і супутніх документів, необхідних для виконання автоматизованого проектування, тобто ПЗ складається з документів із текстами програм, програм на всіх різновидах машинних носіїв, а також з експлуатаційних документів (інструкцій із застосування тощо). Програмне забезпечення – це головний і за значущістю, і за трудомісткістю об'єкт розроблення для створення САПР.

Програмне забезпечення САПР підрозділяють на загальносистемне й спеціалізоване (прикладне). На відміну від технічних засобів, які є універсальним інструментом, програмне забезпечення і насамперед його спеціалізована частина відображають специфіку різних САПР.

Загальносистемне ПЗ призначене для планування та організації процесу обробки інформації, введення-виведення, керування даними, розподілу ресурсів, підготовки й налагодження і представлено операційними системами ЕОМ та обчислювальних комплексів (далі – ОК). Загальносистемне ПЗ зазвичай створюється для широкого застосування і специфіку САПР не відображає.

Структурна схема операційної системи (далі – ОС) включає два компоненти: керувальні програми; оброблювальні програми (рис. 7.2).

Керувальна програма, призначена для керування оброблювальними програмами. Функції керування розділяють на три групи: керування даними, керування задачами, керування завданнями.

До функцій керування даними належать ефективне планування і керування обміном даними між основною (оперативною) пам'яттю та

зовнішніми пристроями; представлення користувачеві гнучких способів організації та доступу до даних.

До функцій керування задачами належить обробка безперервного потоку завдань майже без втручання оператора; прочитування завдання з потоку, організація черги завдань, розподіл пристроїв введення-виведення, передача керування супервізору тощо.

Керування завданнями здійснюється головною керувальною програмою-супервізором, її називають також монітором, диспетчером або резидентною програмою. Супервізор під час виконання програм користувача розташований в оперативній пам'яті й виконує такі функції: обробку переривань, задоволення запитів до основної пам'яті, передачу керування модулями завдання, завершення завдання тощо. Супервізор реалізує в ЕОМ мультипрограмний режим розділення часу.

До оброблювальних програм належать сервісні програми, транслятори з основних мов програмування та бібліотека стандартних програм для виконання типових завдань.

Сервісні програми призначені виконувати функції, що зазвичай зустрічаються у процесі обробки даних, наприклад редагування, зв'язування та інші маніпуляції з програмами і даними. До сервісних програм належать редактор зв'язку, програми сортування-об'єднання і набір допоміжних програм із відладки і перезапису.

Транслятори з мов програмування, що входять до складу ОС, використовують для трансляції прикладної програми користувача, званої початковим модулем, у програму на машинній мові, названу об'єктним модулем.

Об'єктні модулі проходять ще один етап – етап редагування, на якому вони обробляються програмою – редактор зв'язку. Користувач на цьому етапі може збирати свою програму з окремих частин (модулів), написаних у різний час і, можливо, на різних алгоритмічних мовах. Після редагування виходить

завантажувальний модуль, в якому використовують відносні адреси. Для того щоб програма могла бути безпосередньо виконана на ЕОМ, потрібно відносні адреси замінити на абсолютні. Така заміна адрес і подальше завантаження в певне місце оперативної пам'яті здійснюється за допомогою програми вибірки. Після цієї процедури побудований модуль називається абсолютним.

Отже, програма користувача перед виконанням проходить шлях від початкового модуля до абсолютного (рис. 7.3).

З розвитком ЕОМ збільшується значущість найважливішого компоненту загальносистемного програмного забезпечення – операційних систем ЕОМ. Можливості, що надаються користувачам сучасними технічними засобами САПР, усе більшою мірою визначаються їхніми операційними системами, ніж апаратними пристроями.

Операційні системи керують процесом виконання робочих програм і використанням усіх ресурсів технічних засобів. Їхні найважливіші функції в САПР обумовлюються з організацією роботи користувачів у різних режимах, одночасного вирішення різних завдань, динамічного розподілу каналів передачі даних і зовнішніх терміналів між завданнями, динамічного розподілу пам'яті, планування послідовності вирішення завдань з урахуванням встановлених пріоритетів, контролю та діагностики роботи технічних засобів.

Операційні системи безперервно удосконалюють. Для нових поколінь ЕОМ створюють нові операційні системи все з ширшими функціональними можливостями та з природнішим діалогом користувачів і ЕОМ. До того ж операційні системи, зазвичай, призначені для сімейства однотипних ЕОМ, їх можна генерувати (підбирати склад і структуру програм) стосовно певної архітектури технічних засобів САПР і кола вирішуваних завдань.

Іншим важливим компонентом загальносистемного програмного забезпечення САПР є базове програмне забезпечення. До його складу входять: базове програмне забезпечення обробки геометричної та графічної інформації; базове програмне забезпечення для формування і використання баз даних.

У спеціальному (прикладному) ПЗ реалізується математичне забезпечення для безпосереднього виконання проектних операцій і процедур.

Прикладне ПЗ зазвичай має форму пакетів прикладних програм (далі – ППП), кожна з яких обслуговує певний етап процесу проектування або групу однотипних завдань усередині різних етапів.

Тому функції ППП певної підсистеми тісно пов'язані з переліком завдань, що реалізуються на відповідному рівні проектування. Зазвичай ППП складається з окремих непересічних підпрограм – модулів, кожен з яких здатний виконати одну з робочих (проектних) або обслуговуючих (допоміжних) функцій. Модулі можуть з'єднуватися один з одним за завданням користувача, утворюючи необхідні програми. Процедуру складання прикладної програми з наявних у модулів ППП проводить спеціальна керувальна програма – монітор.

У спеціальне ПЗ разом із ППП, що розробляється людиною, у процесі створення САПР входять і робочі програми, які складаються автоматично в ЕОМ для кожного нового об'єкта та маршруту його проектування. Робочі програми складаються з бібліотечних модулів, що генеруються. Бібліотечні модулі реалізують математичні моделі елементів, типові методи й алгоритми, які вживають у процесі виконання завдань проектування багатьох об'єктів.

Модулі, що генеруються, реалізують математичну модель системи та є результатом трансляції з вхідної мови. Отримання робочих програм можливе методом компіляції або методом інтерпретації.

Методом компіляції кожна арифметична операція обчислювального процесу в робочій програмі перетворюється в низку окремих команд. У разі компіляції етапи трансляції та рахунку чітко розділені й отримана робоча програма лінійна, тобто складається з команд, що переробляють інформацію без яких-небудь службових команд типу передач керування, організації циклів тощо. Скомпільовані програми економічні за витратами машинного часу (не мають ніяких додаткових службових команд), але потребують значних витрат

машинної пам'яті (кожній операції відповідає низка команд, що займають декілька елементів пам'яті).

Метод інтерпретації передбачає те, що робоча програма не створюється в остаточному вигляді до початку етапу рахунку: вона генеруватиметься по частинах у разі переходу від виконання попередньої директиви вхідної мови до подальшої. При цьому витрати машинного часу зростають (в ітераційному обчислювальному процесі доводиться багато разів повторювати виконання одних тих самих допоміжних команд, що генерують частини робочої програми), але скорочуються витрати машинної пам'яті (не потрібно зберігати всю скомпільовану робочу програму).

На практиці зазвичай використовують елементи обох методів генерації робочих програм. Чим вище частота використання програм (це властиво програмам найнижчих рівнів), тим обґрунтованішим буде застосування методу компіляції. Метод інтерпретації переважає у процесі генерування програм вищих рівнів, він є найважливішим під час реалізації діалогового режиму САПР.

7.3 Інформаційне забезпечення САПР

Під поняттям інформації мають на увазі деякі відомості або сукупність будь-яких даних, які є об'єктом зберігання, передачі й перетворення.

Стосовно САПР під даними розуміють інформацію, подану у формалізованому вигляді, тобто у вигляді послідовності символів, букв, цифр, графіків, таблиць, креслень, текстів тощо.

Із загального бюджету часу, що витрачається сучасною ЕОМ у процесі виконання різних проектних завдань, 10 % становлять обчислення, а решта 90 % відводяться на переробку інформації. До переробки інформації належать: запам'ятовування, пошук необхідної інформації в інформаційних масивах, передача інформації від одного масиву до іншого, моделювання процесів тощо.

Варто зазначити, що процес обчислення може також розглядатися як окремий випадок переробки інформації.

Інформаційне забезпечення (далі – ІЗ) САПР – це сукупність відомостей (даних), поданих у певному вигляді й використовуваних під час виконання автоматизованого проектування. Проектування реалізується комплексом завдань, обумовлених переробкою численних масивів інформації різного виду. Тому інформаційне забезпечення є одним із найважливіших складників САПР, а витрати на його розроблення становлять більше половини вартості системи загалом.

Інформацію, використовувану в САПР, умовно можна розділити на результатну й похідну. Результатною називається інформація, яка існує до початку машинного проектування. Вона підрозділяється на змінну й умовно-постійну.

До змінної належить така інформація: для проектування деталі – навантаження на неї та зовнішні обмеження; у САПР ТП – геометрична і технологічна інформація про певну деталь.

Кодована інформація про деталь у САПР ТП складається з чотирьох частин: інформація технологічного, конструктивного й економічного значення, що належить до всієї деталі загалом (відомості про спосіб виготовлення деталі, умови виробництва, обладнання, термічну обробку тощо); інформація технологічного та конструктивного значення, що належить до окремих поверхонь або частин деталі (спосіб виготовлення, вигляд термообробки, вигляд покриття тощо); геометрична інформація, що належить до всієї деталі загалом (габаритні розміри, точність виготовлення, шорсткість поверхні тощо); геометрична інформація, що визначає форму, розміри, точні та якісні характеристики окремих поверхонь деталі та їх взаємне розташування.

Ця інформація вводиться в оперативний запам'ятовувальний пристрій кожного разу під час проектування нового технологічного процесу на певну деталь.

Умовно-постійна інформація, що складається з довідкової та методичної інформації, включає відомості про нормалізовані вузли, що є на підприємстві, і деталі, обладнання, оснащення, нормалізований різальний і вимірювальний інструмент, методи отримання заготовок і їх обробки тощо.

Ця інформація є досить стабільною та постійно зберігається в зовнішній пам'яті ЕОМ.

Похідна інформація формується на різних етапах процесу проектування і стосовно САПР ТП містить відомості про маршрут обробки заготовок, технологічні операції та переходи, режими різання, графічні зображення операційних ескізів та інструментальних наладок тощо.

База даних. Уся умовно-постійна інформація, необхідна для функціонування САПР, подається у вигляді бази даних (далі – БД). База даних – це сукупність даних, що обробляються в більше ніж одній програмі (модулі). База даних для САПР ТП включає масиви інформації про обладнання, інструменти, пристрої, норми часу, формулювання операцій і переходів, технологічні й організаційні умови обробки виробів, процедури ухвалення вирішень, збирання й організації даних, а також перелік статистичних методів й моделей в межах проблематики системи тощо.

У БД можна виокремити частини, що відіграють різну роль у процесі проектування (рис. 7.4).

Довідник містить довідкові дані про ДСТ, нормалі, уніфіковані елементи, раніше виконані типові проекти тощо. Цю частину змінюють порівняно рідко та вона характеризується одноразовим записом даних і багаторазовим їх прочитуванням. Вона включає умовно-постійну інформацію та називається постійною.

Проект містить відомості про рішення, що отримуються у процесі проектування. Це – результати виконання проектних завдань, отримані на сьогодні (різного типу схеми, специфікації, таблиці, тексти тощо). Проект

поповнюється або змінюється із завершенням чергових ітерацій на етапах проектування. Ця частина називається напівзмінною.

Масиви даних, що входять у довідник і проект, об'єднують під загальною назвою архів. Третя частина БД містить масиви змінних, значення яких важливі тільки в процесі вирішення одного певного завдання проектування та належать до різновиду раніше визначеної змінної інформації. Ця частина БД називається змінною.

Загалом база даних є сукупністю інформаційних масивів. При цьому кожен масив містить інформацію по одному класу об'єктів.

Відомості по опису об'єкта, які необхідно включити в БД, називають інформаційним змістом. Сукупність даних інформаційного змісту об'єкта (або декількох об'єктів), поданих у певний спосіб, називають підмасивом. Сукупність підмасивів для всієї групи об'єктів становить інформаційний масив. Підмасив може включати як числову, так і текстову інформацію.

За особливостями подання даних, а отже, і організацією, пошуку розрізняють підмасиви списочної та табличної структури. Прикладом списочної структури слугують паспортні дані обладнання, а табличною – таблиці залежності подач верстата від необхідної шорсткості оброблюваної поверхні або залежності величини кута при вершині свердла від вигляду оброблюваного матеріалу тощо.

Бази даних сучасних САПР повинні забезпечувати:

1) економне використання пам'яті. У процесі формування БД необхідно забезпечувати щільне розміщення даних на носіях, мінімізувати надмірність за рахунок усунення багатократного дублювання в різних масивах, розміщувати рідко використовувані дані, дешевші носії (із меншою швидкістю пошуку інформації);

2) узгодження часу вибірки даних прикладними програмами з частотами використання останніх. Для програм низьких ієрархічних рівнів цей час повинен бути мінімальним. Ці програми переважно орієнтовані на змінну

частину БД, яка перед виконанням робочої програми розміщується в оперативній пам'яті. Напівзмінна постійна частини БД (архів) зазвичай використовуються програмами високих рівнів, в яких пошук даних перестає бути визначальним чинником, тому архів розміщується на зовнішніх носіях (магнітних дисках і стрічках);

3) універсальність, тобто наявність всіх необхідних даних і забезпечення доступу до них у процесі виконання проектних операцій і процедур прикладними програмами;

4) достовірність і несуперечність даних;

5) відкритість для внесення нових відомостей.

Автоматизований банк даних. Для використання БД необхідно спеціальне програмне забезпечення, яке проводить вибірку даних прикладними програмами, запис нових даних, видалення старих непотрібних записів, перезапис файлів з одних машинних носіїв на інші.

Сукупність програм, що обслуговують БД, називається системою керування базою даних (далі – СКБД). До головних функцій СКБД належать такі: визначення та ініціалізація БД; організація зберігання даних; надання користувачам доступу до БД; захист цілісності БД; керування доступом до БД; підтримання функцій системного персоналу; підтримання технологічного процесу функціонування системи БД – СКБД.

БД і СКБД разом утворюють банк даних, який зазвичай називають автоматизованим банком даних (далі – АБД). АБД створюють як обслуговчу підсистему та використовують для автоматизованого забезпечення необхідними даними підсистем САПР.

Керування АБД здійснюється фахівцем або групою фахівців, які забезпечують цілісність, правильність даних, ефективність використання та функціональні можливості СКБД САПР. Фахівці виконують такі функції:

– організацію та формування баз даних – з'ясування вимог проектувальників, розробку схем (визначення структури даних, привласнення

даним імен, забезпечення захисту даних), завантаження, регулювання можливості доступу проектувальників і вибір способу фізичної організації баз даних;

– організацію використання баз даних – розподіл запитів у часі, протоколювання робіт з базою даних, організацію регламентних робіт із підтримки АБД у робочому стані, відновлення баз даних у разі порушення цілісності даних і захист від несанкціонованого доступу до баз даних;

– реорганізацію баз даних – визначення необхідності й виконання реорганізації баз даних на підставі нових вимог розвитку й удосконалення або на підставі дослідження розробок і аналізу роботи АБД.

Головними характеристиками АБД є гнучкість, надійність, наочність і економічність.

Гнучкість АБД виражається в можливості нарощування й адаптації засобів СКБД і зміні організації та структури баз даних без великих вартісно-тимчасових витрат. СКБД повинна генеруватися під можливі в експлуатації конфігурації технічного забезпечення й обстановку функціонування. У процесі проектування необхідно забезпечити доступ до інформації АБД користувачів різних рівнів.

Надійність АБД забезпечується можливістю відновлення інформації та програмних засобів АБД у разі їх руйнування; виконанням стандартних або описаних користувачем акцій на несанкціонований доступ або помилковий запит.

Наочність АБД реалізується поданням користувачеві АБД даних у звичній і зручній для сприйняття формі, наявністю засобів, що забезпечують облік і протоколювання його функціонування.

Економічність АБД полягає у задоволенні таких умов: дублювання даних виключається, крім випадків, коли воно виправдане технічними й економічними міркуваннями; автоматизація збору статистичних даних про

вміст і використання інформації банку з метою організації ефективнішого розподілу пам'яті; наявність засобів тиражування баз даних.

7.4 Технічне забезпечення САПР

Технічне забезпечення САПР включає сукупність технічних засобів (далі – ТЗ), що взаємодіють між собою і виконують автоматизоване проектування. Автоматизація проектування потребує випуску спеціалізованих засобів САПР. Технічне забезпечення САПР є сукупністю взаємопов'язаних і взаємодіючих технічних засобів, призначених для виконання автоматизованого проектування.

До технічних засобів належать пристрої обчислювальної і організаційної техніки; засоби передачі даних, вимірники та інші пристрої та їх поєднання, що забезпечують певну технічну функцію відповідних підсистем САПР.

Реалізацію однорідних функцій різних підсистем САПР виконують такі групи ТЗ: підготовка і введення даних, передача даних, програмна обробка даних, відображення та документування даних, архів проектних рішень.

Група ТЗ підготовки і введення даних призначена для автоматизації підготовки, введення, первинної обробки та редагування початкових і нормативно-довідкових даних для автоматизованого проектування. ТЗ підготовки і введення даних повинні забезпечувати кодування інформації, нанесення даних на машинні носії, введення даних в ЕОМ, візуальний контроль і редагування даних під час введення й підготовки алфавітно-цифрової та графічної інформації. Для виконання вказаних функцій застосовують пристрої підготовки даних на машинних носіях (перфоносіях, магнітних носіях, мікрофішах); пристрої введення даних із машинних носіїв (з перфоносіїв, з мікрофішей, що запам'ятовують пристрої на магнітних стрічках і дисках); пристрої введення графічної інформації (графоповторювачі або діджітайзери); клавіатури алфавітно-цифрові, функціональні, спеціальні, а також світлові, що реалізуються на екрані дисплея, і фотоселекторні засоби.

Група ТЗ передачі даних слугує для забезпечення дистанційного зв'язку засобів САПР по різних каналах зв'язку. Пристрої цієї групи повинні забезпечувати передачу даних між видаленими компонентами САПР по телефонних, телеграфних і спеціальних каналах зв'язку. До пристроїв цієї групи належать апаратура передачі даних (модеми, пристрої перетворення сигналів, пристрої захисту від помилок) та апаратура сполучення і концентрації (пристрої сполучення, адаптери дистанційного зв'язку, мультиплексори передачі даних, процесори телеобробки даних).

Група ТЗ програмної обробки даних призначена для прийому цифрових даних, їх програмної обробки, накопичення та виведення на машинні носії, пристрої відображення і в канали зв'язку. До пристроїв цієї групи належать: ЕОМ загального призначення (мікро-ЕОМ, персональні, малі, середні, великі й надвеликі ЕОМ); спеціалізовані ЕОМ і мікропроцесори. ТЗ програмної обробки повинні забезпечувати розроблення та експлуатацію програмного забезпечення САПР, зміну продуктивності шляхом заміни або нарощування ЕОМ, використання програмно-апаратних засобів обліку, зберігання та видачі поточного часу, мультипрограмний режим роботи.

Група ТЗ відображення і документування даних призначена для оперативного представлення проектних рішень і запрошуваних даних, а також для виведення проектної документації та проміжних носіїв. До ТЗ цієї групи належать пристрої візуального відображення інформації (алфавітно-цифрові та графічні дисплеї, панелі й табло відображення інформації, мнімосхеми); пристрої виведення інформації на папір (пристрої друку, графічні пристрої, реєструвальні пристрої); пристрої виведення інформації на мікрофільми та мікрофіші; пристрої виведення на машинні носії запису (перфонові, магнітні носії); пристрої виведення спеціального призначення (координатографи, фотонабірні пристрої тощо).

Група ТЗ архіву проектних рішень забезпечує зберігання, контроль, відновлення та розмноження даних про проектні рішення САПР, а також

довідкові дані (зокрема нормативно-технічній документації). До ТЗ цієї групи належать пристрої тиражування мікрофільмованих документів.

Контроль, відновлення та розмноження даних архіву проектних рішень, що зберігаються на магнітних носіях, виконуються групами ТЗ підготовки і введення, а також програмної обробки даних.

Сучасні технічні засоби САПР повинні відповідати таким вимогам: забезпечувати можливість оперативної взаємодії інженерів з ЕОМ; мати достатню продуктивність і обсяг оперативної пам'яті ЕОМ для вирішення завдань усіх етапів проектування; володіти можливістю одночасної роботи з технічними засобами необхідної кількості користувачів для ефективної діяльності всього колективу розробників; мати комплекс технічних засобів для розширення і модернізації системи; володіти високою надійністю; мати прийнятну вартість тощо.

Перелічені вище вимоги найповніше можна реалізувати у процесі організації комплексів технічних засобів.

7.5 Лінгвістичне забезпечення САПР

Лінгвістичне забезпечення САПР включає різні мовні засоби, які діляться на дві групи: мови програмування; мови проектування. Під терміном «мова» у цьому разі розуміється будь-який засіб спілкування, будь-яка система символів або знаків, використовуваних для обміну інформацією. Мови програмування служать для запису програм. Ними користуються насамперед у процесі при підготовки програм, а не у процесі експлуатації САПР.

Мови проектування призначені для уявлення та перетворення початкової інформації у процесі виконання проектних процедур за допомогою програмного забезпечення. Ці мови застосовуються користувачами САПР у процесі їхньої інженерної діяльності.

Алгоритмічні мови. З моменту використання ЕОМ для розрахунків і проектування виникла проблема спілкування людини з машиною. Спочатку програму для ЕОМ готували в машинних кодах. Такі машинні програми могли розробляти тільки вузькі фахівці-програмісти, які знають пристрій і особливості певної ЕОМ. Інженер-користувач для виконання розрахунків на ЕОМ у своїй проблемній сфері повинен був звертатися до програміста. У цьому разі використовують ланцюжок «користувач – програміст – машина програма – ЕОМ». Такий ланцюжок призводив до великих витрат трудових ресурсів і часу. Програмування завдань на машинній мові обмежувало використання ЕОМ. Ця проблема була вирішена після створення алгоритмічних мов високого рівня, що відрізняються універсальністю. Для того, щоб машина розуміла мови високого рівня, необхідний перекладач із цих мов на машинний. Таким перекладачем є транслятор, тобто програма, яка перетворює програму, написану на мові високого рівня, в машинну.

Унаслідок цього виникає такий ланцюжок: користувач – програма на мові високого рівня – транслятор – машинна програма – ЕОМ.

Символіка та логіка алгоритмічних мов близькі до прийнятих у математиці в російській і англійській мовах. Водночас ця символіка і правила запису строго однозначні й можуть автоматично (формалізовано) переводитися в команди машини. Алгоритмічна мова – це набір символів і система правил освіти і

тлумачення конструкцій із цих символів для задання алгоритмів. Алгоритмічну мову для запису програм і даних називають мовою програмування. Як мови програмування в САПР застосують машинно-орієнтовані мови типу АСЕМБЛЕР та алгоритмічні мови високого рівня.

Алгоритмічні мови високого рівня порівняно з машинно-орієнтованими мовами зручніші для реалізації алгоритмів чисельного аналізу, легше освоюються інженерами, дають змогу підвищити продуктивність праці програмістів у процесі розроблення програм та їх адаптації до різних типів

ЕОМ. Найбільше застосовують мови БЕЙСІК, ПАСКАЛЬ, Сі, Сі+, Сі+Builder, Delphi тощо.

Мови типу АСЕМБЛЕР відрізняються більшою універсальністю, тобто володіють ширшими можливостями для опису кодів різних форматів, логічних операцій і процедур. Використання цих мов потребує менших витрат машинного часу та пам'яті.

Зважаючи на достоїнства машинно-орієнтованих і алгоритмічних мов високого рівня, їх можна застосовувати одночасно для виконання різних завдань у разі розроблення САПР.

Мови проектування. Для забезпечення процесу проектування об'єктів у САПР використовують такі різновиди мов проектування: вхідна; базова; вихідна.

Вхідна мова призначена для подання завдання на проектування. У цій мові для задання початкової інформації в САПР необхідно передбачити засоби опису об'єктів проектування у формі, зручній для відображення та введення в ЕОМ. Ці засоби повинні описувати не тільки математичні об'єкти – числа, змінні, масиви, але й різні види графічної інформації – конструкторські креслення, схеми тощо. Базова мова слугує для представлення додаткових відомостей до первинного опису об'єкта проектування, проектних рішень, описів проектних процедур (зокрема процедур інформаційного обміну) і їхньої послідовності. Ця мова, що зазвичай називається мовою опису завдань, створюється близькою за можливостями, символікою та граматикою до універсальних алгоритмічних мов. При цьому доцільно не розробляти оригінальну базову мову, а використовувати універсальну алгоритмічну мову, доповнивши її окремими елементами, властивими розроблюваному процесу проектування.

Вихідну мову застосовують для представлення якого-небудь проектного рішення, зокрема результат проектування, у формі, що задовольняє вимогам його подальшого застосування. До складу цієї мови належать різноманітні

засоби опису результатів проектування у вигляді креслень, технічних карт, схем налагодження, таблиць, текстової документації, а також засобу подання проміжних результатів проектування, використовуваних у різних підсистемах САПР.

Розроблювані у процесі створення САПР мови проектування, в насамперед вхідні мови повинні відповідати таким вимогам:

- бути універсальними, тобто володіти можливістю опису будь-яких об'єктів проблемної сфери, на яку орієнтована САПР;
- мати проблемну орієнтацію, тобто забезпечувати користувачеві максимальні зручності для опису і сприйняття використовуваних під час проектування даних;
- елементи та конструкції мови повинні володіти однозначністю тлумачення;
- мати можливості для розвитку і розширення;
- бути сумісними з іншими вхідними та вихідними мовами.

7.6 Методичне забезпечення САПР

Під методичним забезпеченням САПР розуміють вхідні до її складу документи, що регламентують порядок її експлуатації. До того ж документи, що стосуються процесу створення САПР, не входять до складу методичного забезпечення. Оскільки документи методичного забезпечення мають переважно інструктивне значення та їх розроблення є творчим процесом, то про спеціальні способи і засоби реалізації цього компоненту САПР мова не йде.

Останнім часом вдосконалення організації робіт у сфері автоматизації проектування спрямовано на централізоване створення типових ПМК із метою широкого тиражування. Такі ПМК повинні включати разом з програмами для ЕОМ із базами даних комплекти документації. Отже, зазначена документація стане частиною методичного забезпечення САПР.

7.7 Організаційне забезпечення САПР

Стандарти із САПР потребують виокремлення як самостійного компоненту організаційного забезпечення, що включає положення, інструкції, накази, штатні розклади, кваліфікаційні вимоги та інші документи, які регламентують організаційну структуру підрозділів проектної організації та взаємодію підрозділів із комплексом засобів автоматизованого проектування, а також порядок ведення документації.

Функціонування САПР можливо тільки за наявності й взаємодії перелічених засобів автоматизованого проектування.

Контрольні запитання

1. Які відомі різновиди забезпечення САПР?
2. Наведіть структуру взаємозв'язку засобів забезпечення САПР.
3. Схарактеризуйте всі забезпечення САПР.
4. З чого складається математичне забезпечення САПР?
5. Що відображає спеціальне математичне забезпечення?
6. Що включає інваріантне математичне забезпечення?
7. Які показники враховують у процесі створення математичного забезпечення САПР?
8. Що таке програма та програмне забезпечення?
9. Як підрозділяють програмне забезпечення САПР?
10. Що таке програма-супервізор?
11. Що входить до складу базового програмного забезпечення?
12. Якими методами можна отримати робочу програму?
13. З чого складається загальна структура оперативної системи?
14. Яка структура інформаційного забезпечення?
15. Що таке база даних, з чого вона складається?

16. Що повинні забезпечувати бази даних?
17. Як здійснюється керування автоматизованим банком даних?
18. Які групи входять до технічного забезпечення САПР?
19. Яким вимогам повинні відповідати сучасні технічні засоби?
20. На які групи розділяють лінгвістичне забезпечення САПР?
21. Схарактеризуйте мови програмування.
22. Схарактеризуйте мови проектування.
23. Яким вимогам повинні відповідати мови проектування?
24. Що таке методичне забезпечення САПР?
25. Що таке організаційне забезпечення САПР?

ЛІТЕРАТУРА

1. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с. [Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/12509>].
2. ДСТУ-Н Б В.2.5-80-2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ, 2015. 83 с.
3. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с. [Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/12462>].
4. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с. [Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10330>].
5. Методичні вказівки «САПР електропостачання» до виконання лабораторних робіт для студентів за напрямком 7.050301 «Електротехніка та електротехнології» з подальшим профілюванням на «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Енергетичний менеджмент» / Укл.: А.П. Свірідов, І.О. Переверзєв, В.В. Зінзура – Кіровоград: КНТУ, 2009 – 79 с.
6. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 153 с.
7. [Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України.](#) – Київ : 2017. – 617 с.