

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ
Кафедра «Тяговий руханий склад залізничного транспорту»

Ю. Ф. Дубравін

Автоматизовані розрахунки та САПР

Методичні рекомендації
щодо самостійного опрацювання матеріалу
для студентів спеціальності 7.092202
«Електричний транспорт»
усіх форм навчання

Київ 2013

УДК 658.512.22.011.56

Дубравін Ю.Ф.

Автоматизовані розрахунки та САПР: Методичні рекомендації щодо самостійного опрацювання матеріалу для студентів спеціальності 7.092202

«Електричний транспорт» усіх форм навчання. – К.: ДЕТУТ, 2013. – 62 с.

Розглянуто основні поняття і терміни процесу проектування, особливості проектування, методи проектування, типи проектних процедур та маршрути проектування. Ускладнення конструкції та збільшення обсягу інформації, яку використовує конструктор, потребують нових методів її обробки на основі автоматизації проектування. Система автоматизованого проектування являє собою комплекс обчислювальних пристроїв, засобів зв'язку, засобів відображення, а також математичних моделей, спеціальних мов програмування тощо. Розглянуто передумови автоматизації проектування, основні вимоги при створенні систем автоматизованого проектування, її склад та підсистеми. Значна увага в методичних рекомендаціях приділена методології рішення проектних задач та видам забезпечення системи автоматизованого проектування.

Методичні рекомендації розглянуті та затверджені на засіданні кафедри ТРСЗ (протокол №7 від 29.03.2011 р.) та на засіданні методичної комісії факультету ІРСЗТ університету (протокол №8 від 30.03.2011 р.).

Призначений для студентів університету спеціальності 7.092202

«Електричний транспорт» усіх форм навчання та відповідає робочій програмі курсу «Автоматизовані розрахунки та САПР».

Укладач: доц., канд. техн. наук **Ю. Ф. Дубравін**

Рецензенти:

доктор техн. наук, професор **В. Г. Гришко**;

начальник бюро промислової електроніки ВАТ «Київський ЕВРЗ»

Є.Д. Попович

Зміст

<i>Вступ</i>	5
Методичні рекомендації щодо самостійного вивчення дисципліни.....	5
1. Загальні відомості про системи автоматизованого проектування. Історія виникнення.....	6
2. Основні поняття і терміни. САПР як навчальна дисципліна.....	8
3. Основні поняття процесу проектування.....	11
3.1. Багатоваріантність проектування.....	11
3.2. Проблеми проектування.....	11
3.3. Проектування як інформаційний процес.....	12
3.4. Основні поняття і визначення проектування.....	12
3.5. Особливості проектування.....	13
3.6. Методи проектування.....	14
3.7. Типи проектних процедур.....	14
3.8. Маршрути проектування.....	15
Запитання для самоперевірки.....	18
Рекомендована література.....	18
4. Проектування як об'єкт автоматизації.....	18
4.1. Передумови автоматизації проектування.....	19
4.1.1 Аналіз процесу проектування.....	19
4.2. Автоматизація етапів проектування.....	20
4.3. Місце САПР у конструюванні.....	21
4.4. Відмінності традиційного проектування й САПР.....	22
4.5. Функції САПР.....	23
4.6. Задачі, що вирішуються САПР.....	23
Запитання для самоперевірки.....	24
Рекомендована література.....	24
5. Класифікація і види САПР.....	24
5.1. Класифікація САПР.....	24
5.2. Рівні застосування ЕОМ.....	28
5.3. Основні вимоги при створенні САПР.....	28
5.4. Побудова САПР.....	29
5.4.1. Підсистеми САПР. Класифікація підсистем САПР.....	30
5.4.2. Моніторна система САПР.....	31
Запитання для самоперевірки.....	31
Рекомендована література.....	31
6. Методологія рішення проектних задач у САПР.....	31
6.1. Основи методології САПР.....	31
6.2. Методологічні принципи сучасного проектування.....	32
6.2.1. Системний підхід до об'єктів проектування.....	32
6.2.2. Рівні проектування складних технічних об'єктів в САПР.....	34
6.3. Пошук аналогів.....	35
6.4. Автоматизація пошуку технічних рішень.....	36

6.5. Експертні системи.....	38
Запитання для самоперевірки.....	39
Рекомендована література.....	39
7. Види забезпечення САПР.....	39
7.1. Технічні засоби САПР.....	39
7.2 Програмне забезпечення САПР.....	42
7.2.1. Базове ПО.....	43
7.2.2. Загальносистемне забезпечення.....	43
7.2.3. Прикладне програмне забезпечення	45
7.2.4. Розробка програмного забезпечення САПР.....	45
7.2.5. Принципи побудови прикладних програм.....	49
7.3 Лінгвістичне забезпечення САПР.....	52
7.3.1 Мови програмування.....	53
7.3.2 Машинно-орієнтовані мови.....	53
7.4. Інформаційне забезпечення САПР.....	55
7.5. Математичне забезпечення.....	56
7.5.1. Математичні методи в проектуванні.....	56
7.5.2. Математичне моделювання в САПР.....	58
7.6. Методичне забезпечення САПР.....	59
7.7. Організаційне забезпечення САПР.....	59
Запитання для самоперевірки.....	60
Рекомендована література.....	61
<i>Використана література.....</i>	<i>61</i>

Вступ

Невідповідність між зростаючими вимогами скорочення термінів проектування, підвищення якості виконуваних робіт при одночасному скороченні витрат на проектні роботи і неможливість вирішення цієї проблеми традиційними засобами є основною причиною створення засобів автоматизації проектування і поширення їх практично на всі області проектування. Комплекс засобів автоматизації проектування, що охоплює всі аспекти проектування, прийнято називати системою автоматизованого проектування – САПР. Сукупність технічних і програмових засобів, що використовуються для рішення задач САПР складають програмно-технічний комплекс. Загальним для всіх комплексів САПР є використання ЕОМ в процесі проектування. Технічне забезпечення включає в себе крім ЕОМ також периферійні пристрої, які призначені для введення, зберігання, трансформації та передачі програм і даних, виготовлення в друкованому вигляді проектної документації. В процесі проектування вихідна інформація про об'єкт, який проектують, перетворюється в комплекс конструкторсько-технологічних документів для його виготовлення за допомогою відповідної технології. Автоматизоване проектування дозволяє значно скоротити суб'єктивізм при ухваленні рішень, підвищити точність розрахунків, вибрати якнайкращі варіанти для реалізації на основі строгого математичного аналізу всіх або більшості варіантів проекту з оцінкою технічних, технологічних і економічних характеристик виробництва і експлуатації проектованого об'єкта. САПР сприяє скороченню термінів проектування і передачі конструкторської документації у виробництво, в якій в повному обсязі використовуються не тільки уніфіковані вироби й стандартні компоненти, але й всі застарілі елементи діючих пристроїв, властивості яких не погіршали за час їх експлуатації. Автоматизація проектування це один з головних напрямків науково-технічного прогресу, а САПР є свого роду конвеєром для проектування окремих об'єктів та складних систем. Немає сумніву, що сучасні методи проектування автоматизованих технологічних об'єктів (ТО) за допомогою програмних засобів постійно удосконалюватимуться, а їх освоєння сприятиме формуванню фахівців, підготовка яких суттєво відрізняється від покоління інженерів, знання яких отримувалися без сучасних персональних комп'ютерів. Все це обумовлює актуальність вивчення дисципліни «Автоматизація розрахунків та САПР». Дисципліна «Автоматизація розрахунків та САПР» є дисципліною за вибором студента для підготовки спеціалістів за спеціальністю 8.092202 «Електричний транспорт» спеціалізація «Електровози та електропоїзди».

Методичні рекомендації щодо самостійного вивчення дисципліни

З метою найкращого засвоєння матеріалу необхідно перед вивченням дисципліни мати загальне уявлення про місце та роль дисципліни в галузі локомотивобудування та технології його ремонту. Використовуючи зміст, виділити загальну структуру дисципліни, її основні блоки та загальну тематику цих блоків. Наступним етапом вивчення дисципліни є вивчення

положень і матеріалу, що входять до складу окремих змістовних блоків. При цьому слід усвідомлювати, що на даному етапі вивчення курсу необхідно засвоїти теоретичні основи дисципліни, основні положення, етапи та методологію побудови систем автоматизованого проектування.

Глибоке розуміння розглянутих теоретичних аспектів та методики автоматизованого проектування дають можливість для їх подальшого творчого практичного використання при виконанні практичних робіт та курсової роботи по дисципліні. Основними структурними блоками дисципліни є:

- вивчення процесу проектування, його особливостей, типів проектних процедур та маршрутів проектування;
- вивчення передумов автоматизації проектування, його значення, функцій та методів автоматизованого проектування;
- вивчення вимог, що висуваються під час створення систем автоматизованого проектування та їх складу;
- ознайомлення з методологією рішення проектних задач при автоматизованому проектуванні;
- вивчення кола технічних засобів, які забезпечують функціонування систем автоматизованого проектування.

Процес проектування носить ітеративний характер з багаторазовим виконання одних і тих самих процедур і операцій, але з постійним збільшенням обсягу інформації. Такі задачі ефективно вирішуються завдяки використанню ЕОМ, що в свою чергу потребує використання певних математичних засобів, основою яких є математичне моделювання. Тому необхідно знати, що найважливішою частиною автоматизованого проектування є формалізація об'єкта проектування, яка передбачає розробку адекватних моделей вузлів, елементів та процесів. Аналітичні моделі дозволяють одержати явні залежності необхідних величин від параметрів і змінних, що характеризують об'єкт проектування чи технологічний процес. Вивчення дисципліни рекомендується розпочинати після ознайомлення з її структурою у відповідно до послідовності викладеного матеріалу. По завершенні вивчення кожного розділу необхідно дати відповідь на поставленні запитання і при необхідності повторно розглянути відповідні розділи методичних рекомендацій або скористатися рекомендованою літературою.

1. Загальні відомості про системи автоматизованого проектування.

Історія виникнення

Останні десятиріччя характеризуються значними досягненнями в різних областях виробництва, значним ростом продуктивних і творчих можливостей людини. Такий прогрес людського інтелекту є результатом співдружності людини з електронною обчислювальною машиною (ЕОМ), що змінила обличчя сучасної науки і техніки. В першу чергу це пов'язано з використанням ЕОМ та систем на їх основі для проектування складних об'єктів, що дозволяє не лише зменшити терміни розробки і знизити трудомісткість проектування, але й знайти більш вигідні технічні та економічні рішення. Під *проектуванням* прийнято розуміти, або процес складання проекту, тобто сукупності

документів, необхідних для виготовлення машин, або процес креслення проєкції, зображення фігури, предмета на площині.

Автоматизація проєктування розпочалася з найпростішого – з креслярських, графічних робіт, а також з виконання на ЕОМ стандартних інженерних розрахунків. Хоча автоматизація цих операцій і важлива, проте вона не дала якісного покращення та істотного прискорення всього процесу проєктування складних конструкцій. Якщо проаналізувати проєкт будь-якої машини або пристрою, то ми побачимо, що найважчий перший крок – зав'язка проєкту, вихідний замисел, ескіз. Щоб вибрати кращий варіант, проєктувальник повинен уявити собі майбутній об'єкт в цілому, побачити, як він функціонує, оцінити його слабкі та сильні сторони. Раніше конструктор або технолог могли справитися з цим самостійно. В міру ускладнення створюваних виробів стає все важче оцінювати конкретний варіант проєкту, його відповідність вихідним вимогам; збільшується кількість варіантів проєкту, які необхідно проаналізувати. Але продуктивність конструктора чи технолога залишилась практично незмінною і час проєктування зріс. Вихід зі становища дає зміна і впорядкування технології проєктування. Ускладнення конструкції як наслідок, збільшення обсягу використовуваної конструктором (технологом) інформації вимагають впровадження нових методів її обробки, тобто автоматизації проєктування. В цьому випадку людина *ставить задачу для ЕОМ і приймає остаточне рішення*, а машина *обробляє весь обсяг інформації і робить первісний відбір*. Для такого «спілкування» людини з машиною і створюються *системи автоматизованого проєктування (САПР)*, що є комплексом обчислювальних пристроїв, засобів зв'язку, засобів відображення, а також математичних моделей, спеціальних мов програмування та інше. Автоматизація проєктування дозволяє:

- a) швидко перевірити гіпотезу і відповідну їй модель (теоретичне або аналітичне представлення проєкту);
- b) побачити і негайно виправити будь-які грубі помилки в кресленні або у вихідних твердженнях;
- c) оцінити (шляхом порівняння із завданням) характеристики моделі і модифікувати її в багатоходовому процесі покращення (оптимізації) конструкції;
- d) прийняти рішення в практичних точках розгалуження і вибрати шлях, по якому ЕОМ продовжить розв'язок;
- e) управляти просуванням у розв'язку задачі (закінчити прогін, змінити вхідні дані і т.д.)

Автоматизоване проєктування позбавляє проєктувальника трудомістких розрахунків, дозволяє більше часу віддавати творчості, пошуку нових інженерних, технологічних та наукових рішень. В результаті *автоматизованого проєктування* створюється ескізний проєкт виробу в якому є основні параметри та характеристики, схеми конструкції і математична модель виробу. Автоматизоване конструювання здійснює оптимальний синтез конструктивних елементів за допомогою ЕОМ. При конструюванні за основу

приймають схему конструкції, отриману на етапі автоматизованого проектування. Схему доповнюють конструкторською розробкою окремих елементів (з'єднувальних і перехідних елементів тощо), проводиться визначення розмірів, допусків і посадок і т.п. У результаті автоматизованого конструювання випускається технічна документація, необхідна для технологічної підготовки виробництва. Технічна документація містить креслення, отримані на креслярських автоматах за розробленими програмами, і технічні умови (умови складання, контролю і т.п.). Разом з тим у виробництво передається «машинний образ» конструкції у вигляді програмоносіїв, на яких нанесено програми для верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Таким чином, нова технологія проектування – це система, яка розпочинається від задуму і закінчується видачею проектної документації або дослідного зразка. Перша система програмування робочих процесів розроблена в 1955- 59 рр. в Масачусетському технологічному інституті під керівництвом Росса. Ця система давала можливість підготовки програм для верстатів з ЧПУ шляхом опису довжин робочого ходу інструмента. В процесі розробки системи підготовки програм для верстатів з ЧПУ виникла ідея не задавати для обробки деталі довжину робочого ходу інструмента, а описувати саму деталь. У зв'язку з цим в Масачусетському технологічному інституті обговорювалось також і поняття САПР. На противагу сьогоденішньому поняттю САПР тоді мали на увазі просто використання ЕОМ для описаних вище цілей. Тепер САПР охоплює весь спектр проблем, зв'язаних з проектною діяльністю (графічних, аналітичних, економічних, ергономічних, естетичних і т.д.). В 1963 р. фірмою Дженерал Моторс була продемонстрована перша промислова розробка САПР, названа DAC-1. На початку 80-х років почалися спроби стандартизації САПР для обміну даними між різними системами і Національним бюро Стандартів. В США було розроблено стандарт IGES (Initial Graphics Exchange Specification - вихідні дані по формату обміну графічними даними). Є міжнародні угоди і для банків даних.

2. Основні поняття і терміни. САПР як навчальна дисципліна

Об'єкт проектування – виріб (деталь, вузол, механізм, машина) або процес (розробка і створення документації технологічного процесу).

Комплекс проектних робіт – теоретичні та експериментальні дослідження, конструювання, розрахунки, випробування.

Автоматизація – застосування автоматичних пристроїв для виконання функцій управління. При автоматизації процеси отримання, перетворення і використання енергії, матеріалів або інформації виконуються автоматично. Залежно від ступеня автоматизації систем управління розрізняють: *системи автоматизовані*, в яких частину функцій управління виконує людина-оператор; *системи автоматичні*, що функціонують без участі людини в процесі управління.

Система автоматизованого проектування (САПР) – комплекс засобів автоматизації проектування, взаємозв'язаних з підрозділами проектної

організації або колективом спеціалістів (користувачів системи), що виконує автоматизоване проектування. Вважається, що людина повинна розв'язувати задачі, що мають творчий характер, а ЕОМ – задачі, що задовольняють таким вимогам:

- 1) можливість алгоритмізації задач, які необхідно вирішувати;
- 2) має місце значний ефект реалізації алгоритму на ЕОМ порівняно з ручним розв'язком.

Основна функція САПР полягає у виконанні автоматизованого проектування на всіх або окремих стадіях проектування об'єктів та їх складових частин на основі застосування математичних та інших моделей, автоматизованого проектування процедур і засобів обчислювальної техніки. Результатом проектування в САПР є сукупність закінчених проектних рішень, що задовольняють заданим вимогам, необхідним для створення об'єкта проектування.

Описи об'єкта, одержані при проектуванні, можуть бути *проміжними* або *залишковими*. До проміжних описів висуваються вимоги лише щодо їх придатності для подальшої роботи з ними і жодних щодо їх форми. *Залишкові* описи являють собою комплект технічної документації, оформлений згідно з вимогами ДСТУ або стандартів ISO серії 9000.

САПР складається із сукупності засобів технічного, методичного, програмного, інформаційного та організаційного забезпечення. До засобів *технічного* забезпечення САПР належать пристрої обчислювальної та організаційної техніки, засоби передачі даних, вимірювальні та інші пристрої, що забезпечують функціонування відповідних систем САПР. Технічне забезпечення САПР включає в себе широкий спектр периферійних пристроїв: алфавітно-цифрові і графічні інтерактивні дисплеї (монітори); пристрої введення графічної інформації з її автоматичним кодуванням (сканери); пристрої виведення графічної інформації – креслярські автомати (графопобудувачі).

Периферійні пристрої, що забезпечують пакетний і діалоговий режими роботи САПР, об'єднуються в комплекс пристроїв, що називаються *автоматизованим робочим місцем* (АРМ) проектувальника. Як правило, центральний обчислювальний комплекс САПР обслуговує одночасно декілька АРМ, тобто САПР є системою колективного користування. *Методичне* забезпечення САПР складається з документів, в яких викладені: теорія, методи, способи, моделі математичні, алгоритми, алгоритмічні мови для опису об'єктів, термінологія, нормативи, стандарти та інші дані, що забезпечують проектування.

До *програмного* забезпечення САПР належать документи з текстами програм, програми на машинних носіях інформації і експлуатаційні документи. Програмне забезпечення поділяється на:

- загальносистемне (операційні системи і сервісні програми; транслятори з алгоритмічних мов і системи програмування);
- прикладне (пакети прикладних програм).

Інформаційне забезпечення САПР передбачає описи стандартних процедур, типових проектних рішень, типових елементів, комплектуючих виробів, матеріалів і т.д., записаних на машинних носіях.

До *організаційного* забезпечення САПР належать різні керівні матеріали, положення та інструкції, що визначають створення і розвиток САПР.

Сучасні САПР дозволяють автоматизувати широке коло операцій, зв'язаних з проектуванням, різні рутинні розрахункові операції, виконання і корегування креслень, розв'язання задач оптимізації форми виробів, підготовку виправних програм для верстатів з ЧПУ, розв'язання важко формалізованих задач, наприклад, вибір матеріалів або конфігурації виробів.

Таким чином, машинобудування та приладобудування є однією з перспективних галузей застосування САПР. У світовій практиці спостерігається тенденція до інтеграції автоматизованих систем проектування і виробництва з утворенням систем *гнучких автоматизованих виробництв* (ГАВ). Застосування ГАВ дозволяє істотно підвищити ефективність виробництва шляхом швидкої перебудови устаткування на випуск певних класів деталей. Автоматизація проектування як *науково-технічна навчальна дисципліна* містить:

- 1) методологію автоматизованого проектування;
- 2) математичне забезпечення (математичні моделі, методи та алгоритми для виконання різних проектних процедур);
- 3) питання комплексування технічних засобів і розробки спеціалізованої апаратури для САПР;
- 4) питання розробки і використання програмно-інформаційного забезпечення банків даних, пакетів прикладних програм, операційних систем ЕОМ.

Запитання для самоперевірки

1. Визначите поняття «проектування».
2. У чому розходження при рішенні технічного завдання з використанням тільки ЕОМ і з використанням комплексу технічних засобів САПР?
3. Які основні технічні засоби входять у склад САПР і які функції вони виконують?
4. Охарактеризуйте САПР як організаційно-технічну систему.

Рекомендована література:

- 1) *Норенков І. П.* Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. У МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.
- 2) *Гудима Ю.В.* Системи автоматизованого проектування технологічних процесів: Конспект лекцій для студентів заочної форми навчання. – Чернівці: Рута, 2003. – 44 с.

3. Основні поняття процесу проектування

3.1. Багатоваріантність проектування

При проектуванні доводиться допускати протиріччя між вимогами виробництва й експлуатації, викликані різною природою цих процесів. Різні умови виготовлення й експлуатації надають різної ваги кожному із критеріїв: конкретним умовам відповідають певні комплекси критеріїв, які залежать від науково-технічного прогресу. Між окремими видами вимог експлуатації й вимогами виробництва є взаємозв'язки. У більшості випадків експлуатаційні вимоги можна розділити на групи, кожній з яких відповідає безліч варіантів об'єктів проектування, з яких необхідно вибрати оптимальний, що найбільше задовольняє умовам проектування.

Множинність шляхів досягнення мети проектування вимагає розгляду не одного, а багатьох варіантів технічного рішення, до кожного з яких застосовуються певні методи аналізу і оцінки. Все це приводить до неоднозначності результатів проектування й багатоваріантності проектних рішень. Реальні технічні системи настільки багатоваріантні, що виникають труднощі у розгляді всіх можливих варіантів.

Ітеративність проектування характеризує повторне застосування методів або алгоритмів. Ітеративність проектування обумовлена особливостями блочно-ієрархічного підходу до проектування: на кожному попередньому рівні проектування можна лише прогнозувати стан об'єкта на наступних рівнях проектування. Помилковість допущень, зроблених на попередніх етапах, може виявитися лише на наступних кроках, тому неминуче повернення до попередніх етапів для перепроєктування.

Ітеративність проектування виходить із сутності проектування як процесу послідовного наближення до прийнятного проектного рішення, яке реалізоване чергуванням процедур синтезу й верифікації. На перших етапах проектування розглядається багато варіантів можливих рішень, тому для швидкого одержання оцінки знайдених рішень необхідне використання спрощених моделей. У міру наближення до закінчення проектування в ньому бере участь все більша кількість виконавців – отже збільшується ціна помилки й, відповідно, зростають вимоги до точності оцінки. Крім того, перевірки доводиться проводити за все більшою кількістю параметрів, з огляду на їхній статистичний характер до нестабільності зовнішніх умов. Таким чином, у процедурах верифікації доводиться використовувати не одну модель об'єкта, а низку моделей, що ієрархічно відрізняються складністю й точністю.

3.2. Проблеми проектування

Рішення проектного завдання носить ітеративний характер: для нього характерне повторне виконання попередніх етапів проектування на основі уточненої або доповненої інформації, отриманої на наступних етапах. Доцільне використання в проектованому об'єкті або процесі уніфікованих елементів, при цьому у відповідних етапах можна використовувати готові рішення. Для використання уніфікованих елементів необхідна наявність не тільки

математичних моделей, що описують поведінку окремих частин, але й умов, що описують сполучення уніфікованої частини зі взаємозалежними елементами системи.

Застосування блочно-ієрархічного методу дозволяє розробляти відповідні моделі окремих етапів (так звані «малі моделі»), а потім поєднувати їх у загальну модель всієї системи або її окремої частини. Наявність математичних моделей дозволяє не тільки проектувати окремі частини з детальним обліком особливостей їхнього функціонального призначення, але й ретельно враховувати особливості спільної роботи всіх частин проекрованої системи.

3.3. Проектування як інформаційний процес

Метою проектування є одержання опису проектованого об'єкта із заданим ступенем деталізації й у заданій формі шляхом багатоваріантного перетворення інформації про проектований об'єкт або процес. Вихідні дані для проектування подаються, як правило, в технічному завданні, у якому в загальному вигляді формулюються призначення об'єкта проектування й вимоги до його характеристик. Процес проектування прийнято розглядати як послідовність етапів обробки інформації, кожний з яких завершується прийняттям рішення, що є підставою для початку наступного етапу. На кожному із етапів послідовно збільшується ступінь деталізації розроблюваного опису. Кінцевий опис – проектна документація – містить всю інформацію, необхідну для виготовлення об'єкта в конкретних виробничих умовах.

3.4. Основні поняття і визначення проектування

Автоматизованим називають проектування, що здійснюється людиною в систематичній взаємодії з ЕОМ при раціональному розподілі функцій між людиною й ЕОМ. Ступінь автоматизації оцінюється часткою δ проектних робіт, що виконуються на ЕОМ без участі людини. При $\delta = 0$ проектування називають *неавтоматизованим*, при $\delta = 1$ – *автоматичним*. Іншими словами, *автоматичним* є проектування, при якому всі перетворення описів об'єкта й алгоритму його функціонування, а також подання опису здійснюються без участі людини, а при *автоматизованому* – при взаємодії людини з ЕОМ. Проектування із застосуванням ЕОМ відрізняється від автоматизованого тим, що користувач сам обирає математичну модель об'єкта проектування, потім, при допомозі стандартних програмних засобів, розраховує цю модель на ЕОМ. При автоматизованому проектуванні завдання з самого початку вводиться в ЕОМ з врахуванням її фізичних і технічних особливостей, а ЕОМ автоматично виділяє її математичну сутність і вирішує.

Алгоритм проектування – сукупність умов, необхідних для виконання проектування.

Проектна процедура – це формалізована сукупність дій, виконання яких закінчується ухваленням проектного рішення. Процедури проектування опираються на мову проектування, яка є засобом лінгвістичного або графічного

подання й перетворення опису об'єкта в процесі проектування. Проектна процедура складається з елементарних проектних операцій зі строго встановленим порядком їхнього виконання й спрямована на досягнення локальної мети в процесі проектування. Кожна проектна процедура характеризується набором (групою) параметрів, що містять у загальному випадку вихідні дані, обмеження, математичну модель, процедуру обчислення, проектне рішення й критерії оцінки проектного рішення.

Проектною операцією називають дія або формалізовану сукупність дій, що є частиною проектною процедури, алгоритм яких залишається незмінним (інваріантним) для ряду проектних процедур. Прикладами проектних операцій є деякі обчислювальні роботи (лінеаризація характеристики, рішення рівняння й ін.), способи інтерпретації результатів (наприклад, побудова графіка, таблиці), види підготовки даних.

Проектне рішення – проміжний або кінцевий опис об'єкта проектування, необхідний і достатній для визначення подальшого розгляду або закінчення проектування.

Мова проектування – мова, призначена для подання й перетворення описів при проектуванні.

3.5. Особливості проектування

Проектуванню як інформаційному процесу властиві такі особливості:

1) Результатом проектування є сукупність інформації, що не існує на момент початку проектування.

2) Процес проектування не можна визначити до початку його виконання. На вибір конкретного рішення впливає дуже багато факторів, найчастіше протилежних, наприклад, економічні вимоги практично завжди вступають у протиріччя з екологічними.

3) Процес проектування реалізується відповідно до загального плану, що визначає деяку послідовність виконання проектних процедур і операцій.

4) План проекту може коректуватися залежно від результатів виконання чергової проектною дії (процедури або операції) – проектного рішення.

5) Під проектним рішенням мають на увазі проміжний або кінцевий опис об'єкта проектування, необхідне й достатнє для визначення подальшого напрямку проектування або його закінчення.

6) Оцінка проміжних результатів проектування не дає уявлення про рівень кінцевого результату.

7) На різних етапах проектування в прийнятті рішень беруть участь різні фахівці, що перетворює проектування в колективний процес.

8) Участь у проектуванні різних фахівців вимагає застосування різних способів опису того самого об'єкта проектування.

9) Проектований об'єкт або процес є складовою частиною складно організованої системи об'єктів, виступаючи одночасно і як частина системи високого рівня, і як система об'єктів і процесів більше низького рівня.

10) Різноманіття й творчий характер багатьох етапів проектування унеможлиблює формалізацію їхніх взаємозв'язків.

11) Як наслідок, результат проектування не може бути заздалегідь визначений.

3.6. Методи проектування

Методи проектування, що використовуються в цей час можна умовно розділити на евристичні, систематичні й алгоритмічні.

Евристичними називаються такі методи, коли важлива частина творчого процесу і отримання творчого результату відбувається в мозку людини й не може бути логічно отримана з попереднього досвіду.

Систематичні методи являють собою впорядковані якоюсь мірою загальні правила й рекомендації, які допомагають рішенню творчих завдань без попередньої оцінки результатів. Відомо більше тридцяти подібних методів, з яких найвідоміші: мозковий штурм, морфологічний метод, методи елементарних питань, аналогій, інверсії, емпатії, синтетика, «від цілого до окремого» і інші алгоритми рішення винахідницьких задач.

Алгоритмічні методи містять логічні і математичні алгоритми, які використовують можливість дедукції, прагнуть до визначення операцій і їхньої послідовності й зв'язків між операціями. При цьому найбільше формалізовані методи базуються на формальну логіку і математичне моделювання. Алгоритмічні методи полегшують застосування ЕОМ при проектуванні й конструюванні технічних засобів.

Разом з тим двоїстий (алгоритмічний і евристичний) характер процедур проектування унеможлиблює їхню повну автоматизацію. Сучасні методи проектування, орієнтовані на широке використання ЕОМ, проте не виключають участь людини при рішенні найбільш складних задач творчого характеру. Таке розумне сполучення формалізованих (машинних) і неформалізованих (людських) процедур у процесі проектування прийнято називати ергатичністю. Принцип ергатичності припускає автоматизацію проектування на основі застосування людино-машинних систем, у яких об'єднані інтелект людини й формалізовані знання.

3.7. Типи проектних процедур

Залежно від ступеня невизначеності умов прийняття рішень можна виділити три типи проектних процедур, характерних для завдань проектування:

➤ Повністю детермінована процедура. При цьому алгоритм ухвалення рішення, що задане у вигляді жорсткої послідовності проектних операцій, всі необхідні для них дані перебувають у системі. Роль проектувальника полягає в тому, щоб прийняти остаточне рішення шляхом включення в потрібний момент цієї процедури й оцінки результатів її роботи.

➤ Алгоритмічно визначена процедура, але з невизначеними вихідними даними. На відміну від першого типу тут немає повного набору даних і, крім того, частина необхідних даних може бути задана у вигляді

припустимих діапазонів їхньої зміни. Проектувальник-користувач у цьому випадку формує в діалоговому режимі з ЕОМ різні набори вихідних даних для різних проектних операцій доти, доки не буде отримане й оцінене прийнятне проектне рішення.

➤ Процедура з невизначеним алгоритмом. У цьому разі відсутній формальний метод рішення даного проектного завдання й відомі лише деякі евристичні прийоми, засновані на досвіді рішення аналогічних завдань. Проектувальник, опираючись на інтуїцію й досвід, створює кілька альтернативних варіантів рішення й методом проб і помилок, вирішує завдання, націлюючи ЕОМ на відповідний варіант рішення. ЕОМ реалізує проектні процедури й кількісно оцінює варіанти одержуваних рішень.

3.8. Маршрути проектування

Висхідне й спадне проектування. Можливі два способи розчленовування проектованої системи на ієрархічні рівні. Якщо рішення виконується починаючи від завдань більш високих ієрархічних рівнів до завдань більш низьких рівнів – таке проектування прийнято називати спадним. Рішення у зворотному напрямку – від нижчестоящих рівнів до більш високих – висхідне. Функціональне проектування складних систем найчастіше є спадним, конструкторське проектування – висхідним.

Кожному із цих способів властиві певні недоліки, в основному – відсутність необхідної інформації, наслідком чого є відхилення розроблюваного опису від реальної моделі. У спадному проектуванні система розробляється в умовах, коли ще невідомі властивості і можливості її елементів. При висхідному проектуванні елементи розробляються раніше системи, тобто, при відсутності конкретних вимог до елементів.

Типові маршрути й процедури проектування.

Маршрут проектування – це послідовність проектних процедур, що веде до одержання потрібних проектних рішень. Вихідна інформація, як правило, оформлена в вигляді технічного завдання (ТЗ), яке містить в собі вимоги в цілому до функціонування об'єкту та вимоги до вихідних параметрів його складових частин. Алгоритм типового маршруту проектування приведений на рис.1. Наприклад, маршрут проектування локомотива включає в себе такі етапи:

- виділення окремих підсистем верстата й вибір фізичних принципів їхньої дії (концептуальне проектування);
- формування принципових і функціональних схем підсистем (схемотехнічне проектування);
- компоновання вузлів і локомотива в цілому (компоновальне проектування);
- формування опису (паспорта), складальних креслень вузлів локомотива, схем (кінематичних, електричних, гідравлічних і пневматичних) і робочих креслень деталей;

➤ розробка й оформлення технологічної документації й керівної інформації для програмно-керованого технологічного устаткування.

Побудова маршрутів проектування

Проектування ускладнюється відсутністю методів, що забезпечують безпомилкове одержання проектних рішень, оскільки найважливіші рішення, що визначають хід проектування в цілому, проектувальник приймає на основі евристичних методів.

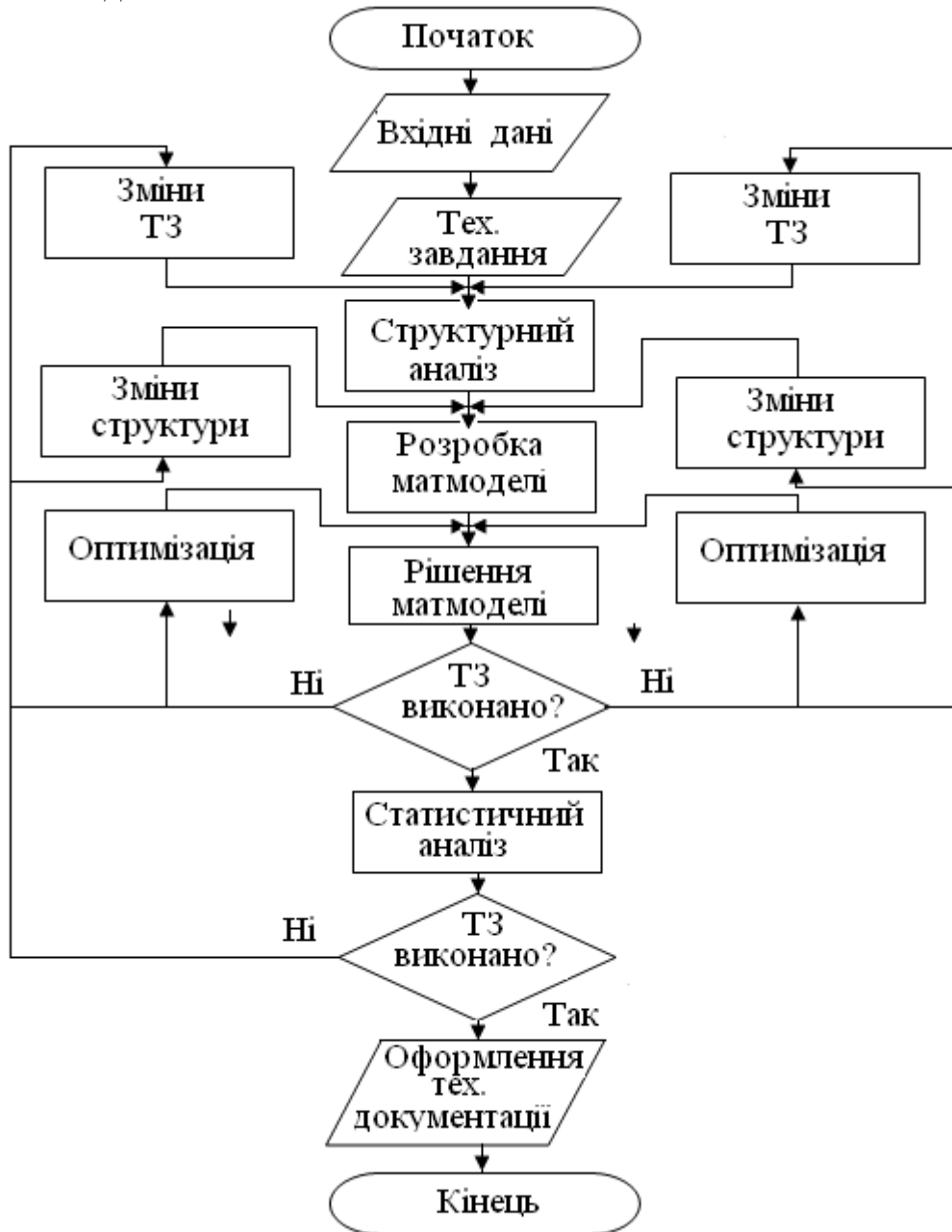


Рис.1. Алгоритм маршруту проектування

Використання при розробці маршруту проектування певних типових прийомів (принципів) дозволить скоротити кількість помилок і одержати проектне рішення, що задовольняє вимогам технічного завдання, незважаючи на розмаїття якісних і кількісних вимог. Основним принципом побудови маршруту проектування є *розподіл загального завдання* проектування на більш

прості завдання пошуку проміжних проектних рішень. Розчленування складної задачі на ряд більш простих має виконуватись відповідно до положень блочно-ієрархічного підходу до проектування. Тільки в цьому разі воно дасть можливість організувати колективне паралельно-послідовне виконання робіт підрозділами проектної організації. Другий по важливості принцип побудови маршруту проектування рекомендує *враховувати ітеративність* проектування, для чого необхідно передбачити етапи визначення відповідності проектних рішень критеріям, яким повинен відповідати об'єкт проектування. Нехтування вимогами тягне за собою прийняття неоптимальних рішень, а надмірне дроблення процесу проектування – збільшення вартості й строків проектування.

При побудові маршруту проектування необхідно *чергувати процедури синтезу і верифікації* (порівняння) проектних рішень. Це дасть можливість скоротити кількість помилок, уникнути яких повністю неможливо через труднощі формалізації завдань проектування й різноманіття якісних і кількісних вимог. Для скорочення помилок також необхідно дотримуватись вимоги *підвищення жорсткості аналізу* в міру наближення до кінцевого ухвалення проектного рішення. Ця вимога викликана тим, що у міру наближення до закінчення проектування зростає ступінь деталізації розробки проекту, зростає кількість можливих варіантів рішення й ускладнюються моделі проектованого об'єкта або процесу.

Процедури синтезу і аналізу

Проектні процедури по прийомах, що використовуються, можна розділити на процедури синтезу і аналізу.

Процедури синтезу використовуються при створенні описів об'єктів, що проектуються. Такі описи відображають *структуру* (склад елементів і їхні зв'язки між собою) і *параметри* (деякі властивості або режими функціонування об'єкта). Відповідно виділяють процедури структурного й параметричного синтезу. По характеру проектованого об'єкта процедури структурного синтезу можна розділити на процедури синтезу схем (принципових, функціональних, структурних, кінематичних тощо), конструкцій (визначення геометричних форм, взаємного розташування деталей), процесів (технологічних, обчислювальних тощо), документації (креслень, пояснювальних записок, відомостей тощо).

Прикладом структурного синтезу є синтез алгоритму, структура якого визначається послідовністю операторів або синтез логічної схеми, структура якої передається набором логічних елементів і їхніх зв'язків.

Параметричний синтез полягає в розрахунку значень параметрів елементів при заданій структурі об'єкта, наприклад, геометричних розмірів деталей приводу: діаметрів валів, модулів зубчастих передач та інших. Основне призначення процедур параметричного синтезу – визначення номінальних значень параметрів елементів, їхніх допусків і їхня оптимізація. Для оптимізаційних завдань характерне виконання великого обсягу складних

обчислень, що може бути виконано автоматизованою системою. В традиційному проектуванні ці задачі вирішуються на основі спрощених методик.

Процедури аналізу застосовуються для перевірки працездатності об'єкта шляхом дослідження проектного об'єкта або його опису на відповідність виконуваним функціям. Крім того, процедури аналізу використовуються для верифікації декількох описів об'єкта проектування: один опис є первинним і вважається коректним, а імовірність другого, що належить до наступного, більш докладного рівня проектування або іншого його аспекту, встановлюється зіставленням з первинним описом.

Запитання для самоперевірки

1. В чому полягає ітеративність проектування?
2. В чому полягає застосування блочно-ієрархічного методу?
3. Дати визначення проектної процедури, проектної операції та проектного рішення.
4. Дайте характеристику методів проектування.
5. Чому проектування має ітераційний характер?
6. Зробіть перелік і охарактеризуйте основні стадії проектування технічних об'єктів.
7. Дайте характеристику висхідного і спадного проектування.
8. Що таке маршрут проектування та елементи типового маршруту?
9. В чому полягає побудова маршруту проектування?
10. Призначення процедури аналізу.
11. Призначення процедури синтезу, типи процедур синтезу.

Рекомендована література

1. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. У МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.
2. *Норенков И. П.* Автоматизированное проектирование: Учебник. – М.: Изд. У МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 188 с.
3. Автоматизация производства: Учеб. для сред. проф. учеб. заведений/*В.Н. Брюханов, А.Г. Схиртладзе, В.П. Вороненко*; Под. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш. шк., 2005. – 367с.

4. Проектування як об'єкт автоматизації

Невідповідність між зростаючими вимогами скорочення строків проектування, підвищення якості виконуваних проектів при одночасному скороченні витрат на проектні роботи й неможливість рішення цієї проблеми традиційними засобами є основною причиною створення засобів автоматизації проектування і розповсюдження їх практично на всі області проектування.

4.1. Передумови автоматизації проектування

4.1.1 Аналіз процесу проектування

Дії проектувальників, що розробляють різні вироби й процеси зовні можуть досить істотно розрізнятися. Проте при розгляді їх з формальної сторони, як операцій обробки інформації, можна виділити багато подібних операцій. Ці операції можна формалізувати, а отже – автоматизувати значну частину проектних процедур і операцій, особливо на етапі опису проектного рішення. Для автоматизації процесу проектування насамперед необхідно розробити описову модель всіх його етапів. Залежно від функціональної ознаки кожний етап поділяється на підетапи, види робіт, проектні процедури й проектні операції, ідентичні за технологією виконуваних дій. Такими інваріантними до об'єкта проектування операціями можуть бути, наприклад, пошук інформації, виконання типових розрахунків, оформлення креслень типових деталей, а також розробка типових технологічних маршрутів. Для цих операцій можна застосувати певні математичні засоби й використовувати стандартні інструментальні засоби (наприклад, для зберігання, пошуку й обробки інформації застосовуються стандартні системи керування базами даних) або розробити спеціальні засоби.

Як вже відзначалось, процес проектування носить ітеративний характер, для нього характерне багаторазове виконання тих самих процедур і операцій, обсяги інформації яких постійно збільшуються. Ця особливість проектування дозволяє на повторюваних етапах проектування використовувати ті самі засоби автоматизації.

На наступному етапі робіт варто об'єднати засоби автоматизації окремих проектних процедур і операцій у єдину систему, що вирішує поставлену проектну задачу.

Схема проектування

Застосування системного підходу дозволяє виділити при вирішенні завдань проектування низку етапів.

Етап постановки загального завдання містить:

- > формулювання службового призначення (функції) об'єкта або процесу проектування;
- > розробку й аналіз системної моделі предмета проектування як елемента підсистеми більш високого рівня;
- > розробку концепції проекту.

Наступний етап – аналіз загального завдання проектування:

- > виявлення зв'язків об'єкта проектування з навколишнім середовищем;
- > розробка внутрішньої багаторівневої структури об'єкта;
- > визначення складових загального завдання, обмежень і критеріїв оптимізації;
- > пошук напрямку продовження проектування;
- > при необхідності – розбивка загального завдання на підзавдання.

Заключний етап – *формалізація об'єкта проектування* – визначає вибір методу рішення завдання. Залежно від ступеня можливої формалізації завдання може бути обраний один з таких способів рішення:

- > завдання може бути повністю формалізоване – можливе рішення завдання в автоматичному режимі;
- > завдання може бути частково формалізоване – можливе рішення з використанням засобів автоматизації по кроках в діалоговому режимі;
- > завдання не може бути формалізоване – для його рішення застосовуються евристичні методи.

4.2. Автоматизація етапів проектування

Проектування, особливо на перших етапах, носить творчий характер і в повному обсязі його формалізація неможлива. Разом з тим автоматизація окремих його етапів не тільки можлива й доцільна з погляду підвищення якості проектування, але й економічно ефективна.

При розробці технічного завдання основними операціями є пошук і аналіз інформації про прототипи проєктованого об'єкта і формулювання вимог до нього. Більші обсяги використовуваної при проектуванні науково-технічної інформації роблять доцільним і необхідним використання автоматизованих баз і банків даних.

На етапі ескізного проектування основним видом робіт також є пошук інформації, її деталізація, аналіз і прийняття рішень. Для обґрунтування проектних рішень застосовуються технічні й економічні розрахунки, що легко піддаються автоматизації. Це дозволяє широко використовувати математичні методи оптимізації. Разом з тим, сам пошук технічних рішень погано піддається формалізації і на цьому етапі застосування засобів автоматизації носить допоміжний характер.

Розробка технічного проєкту пов'язана з деталізацією прийнятих рішень і уточненням інформації про об'єкт проектування, а також пошук інформації про його складові частини. Знайдені рішення обґрунтовують числовими розрахунками по уточнених, а отже й більше трудомістких методиках. На підставі отриманої на попередніх етапах інформації, розробляють комплекти робочих і експлуатаційних документів, тому на цьому етапі поряд з пошуковими системами доцільне застосування систем підготовки креслярської й текстової документації. Основним видом робіт на стадії робочого проектування є оформлення проектних рішень у вигляді креслень і специфікацій до них. У високотехнологічних галузях промисловості цей процес повністю автоматизований.

Доцільне суміщення попереднього етапу з розробкою технології виготовлення виробу: сучасні засоби автоматизації дозволяють виконувати спільно обидва ці етапи. Якщо ж автоматизувати розробку програм, керуючих станками із числовим програмним управлінням (ЧПУ) і промисловими роботами, то традиційне подання робочої інформації у вигляді креслень стає

зайвим: можливий перехід до технології без паперового виробництва. При цьому конструкторська документація в електронному вигляді надходить до технологів, а від них – безпосередньо на автоматизовані склади, верстати з ЧПУ і роботи.

У традиційному виробництві широко застосовуються методи групової технології, що допускають застосування засобів автоматизації. При розробці індивідуальної технології виготовлення оригінальних деталей і вузлів використовуються операції, багато в чому аналогічні тим, що використовувались на перших стадіях проектування об'єкта:

1) пошук вихідної інформації (про виготовлення аналогічних об'єктів, про технологічне устаткування, технологічні й трудові нормативи);

2) аналіз можливих варіантів обробки, послідовності технологічних операцій і режимів їхнього виконання, потреби в інструменті, у розробці спеціального оснащення;

3) оформлення відповідної технологічної документації.

При їхньому виконанні можливе застосування тих же засобів автоматизації, що й на початкових стадіях проектування. Об'єднання засобів автоматизації обробки інформації й керування її використанням на всіх етапах проектування є метою розробки й функціонування сучасних систем автоматизації.

4.3. Місце САПР у конструюванні

САПР необхідно розглядати як інструментарій висококваліфікованого проектувальника, призначеного для рішення складних науково-технічних задач автоматизації всіх етапів проектування. САПР організаційно-технічна система, що складається з комплексу засобів автоматизації проектування, взаємопов'язаного з підрозділами проектною організацією, яка виконує автоматизоване проектування. Раніше вже відзначалося, що початкові етапи проектування характеризуються високим рівнем творчої складової і через це погано піддаються формалізації й алгоритмізації. Тому основний обсяг робіт виконує проектувальник, а застосування засобів автоматизації носить допоміжний характер.

На стадії ескізного проектування (найбільш творчої серед інших стадій конструювання) найбільший ефект дає застосування засобів об'ємної графіки, за допомогою яких конструктор у режимі інтерактивного графічного діалогу може створювати й модифікувати тривимірне зображення деталей і вузлів виробу, компоувати їх, розглядати зображення під різними кутами й т.д.

Забігаючи вперед, слід зазначити, що на стадії технологічної підготовки виробництва використання засобів об'ємної графіки дає можливість моделювати траєкторію руху елементів, оптимально розміщувати обладнання. Дуже важливо використовувати на цих стадіях якщо не ті самі програмні засоби, то, принаймні – сумісні по формату зберігання інформації, що дозволить технологам використовувати не креслення, а комп'ютерні моделі,

розроблені конструкторами, у протилежному випадку технолог змушений буде повторно (після конструктора) створювати об'ємне зображення деталі.

На стадії технічного проектування основним змістом робіт є втілення конкретного задуму, тобто визначення характеристик складових частин виробу. Це досягається виконанням розрахунків, які, за умови існування математичної моделі об'єкта проектування, можна повністю автоматизувати. При відсутності такої моделі доцільне використання універсальних програмних засобів, однак при цьому трудомісткість проектування зростає, а надійність результатів знижується, оскільки застосування універсальних засобів вимагає ретельного тестування. Другою по трудомісткості частиною роботи цього етапу є пошук і обробка інформації про стандартні деталі, покупні вироби тощо. В умовах ринкової економіки ситуація може дуже швидко змінюватися: ті частини виробу, що вчора було вигідно робити самостійно – завтра може виявитися вигідно купувати.

На стадії робочого проектування розробляються робочі креслення і технічна документація. Якщо проектувальник використовував у створюваному виробі типові вузли й деталі, то визначення розмірів і їхніх допусків, оформлення складальних і робочих креслень може бути повністю формалізоване й виконуватися в автоматичному режимі, без участі проектувальника.

Найбільш трудомістким етапом у загальному процесі проектування нового виробу є технологічна підготовка його виробництва, що складається з виконання певного комплексу технічних, економічних і організаційно-технічних заходів. Зміст і трудомісткість цього етапу проектування залежать від конструкторсько-технологічних особливостей виробу і типу виробництва. Так у загальній трудомісткості технічної підготовки виробництва виробу технологічна підготовка складає в одиничному й дрібносерійному виробництві 20...25 %, у серійному – 50...55 %, у крупносерійному і масовому – 60...70 %. Очевидно, що через високу трудомісткість автоматизація процесів технологічного проектування має особливе значення.

4.4. Відмінності традиційного проектування й САПР

У той час, як логічні схеми процесів традиційного проектування визначаються сформованим досвідом проектною організацією і творчим почерком генерального конструктора й можуть істотно відрізнятися навіть для одного класу об'єктів, САПР базується на *математичних моделях* самих об'єктів і процесів їхнього проектування. Автоматизація проектування виникла й розвивається на основі загальної теорії проектування. На відміну від традиційного проектування, яке більшою мірою опирається на творчі методи, при автоматизованому проектуванні переважають методи математичного моделювання, порівняння варіантів і оптимізації рішень. Цим обумовлена відмінність методів постановки й рішення задач при автоматизованому й традиційному проектуванні. Тому впровадження в проектну організацію САПР вимагає більшої чіткості використовуваних термінів, визначень і понять, для

чого необхідний перегляд усталених прийомів роботи з метою підвищення їх формалізації.

4.5. Функції САПР

Основною функцією САПР є забезпечення автоматизованого проектування об'єктів або процесів та їхніх складових частин на всіх або окремих стадіях проектування. В сучасних САПР використовуються автоматизовані проектні процедури, засновані на застосуванні математичних і інформаційних моделей проектного об'єкта або процесу й засобів обчислювальної техніки. Процедури САПР здійснюють перетворення вихідної проектно-інформації (опису об'єкта проектування) у вихідні дані (проект) як при взаємодії з людиною, так і без його участі. Результатом функціонування САПР є сукупність описів, оформлених у вигляді проектних документів певної форми, достатніх для виготовлення об'єкта проектування або реалізації проектного процесу. САПР повинна забезпечувати одержання проміжних або кінцевих описів проектного об'єкта або процесу, достатніх для ухвалення рішення про продовження або закінчення проектування.

4.6. Задачі, що вирішуються САПР

У даний час системи автоматизації проектування успішно вирішують такі задачі:

- 1) Інформаційний пошук (документальні, фотографічні системи).
- 2) Автоматизація проектно-конструкторських робіт – розрахунки:
 - > конструктивних і експлуатаційних параметрів виробу;
 - > параметрів конструкцій складнорізного інструмента;
 - > параметрів геометричних фігур;
 - > проектування деталей, виробів;
 - > відтворення креслень, схем, графіків.
- 3) Автоматизація технологічного проектування:
 - > вибір оптимальних заготовок;
 - > розрахунок оптимальних допусків на обробку;
 - > раціональний розкрій матеріалів;
 - > проектування маршрутних технологічних процесів;
 - > проектування операційних технологічних процесів обробки деталей;
 - > вибір устаткування, пристосувань для різання і вимірювального інструмента, визначення професії, розряду;
 - > розрахунок оптимальних режимів різання;
 - > проектування типових (групових) технологічних процесів, розробка зведеної специфікації технологічного оснащення, розрахунок налагоджень автоматів, розробка керівних програм до станків з ЧПУ.
- 4) Автоматизація нормування витрати ресурсів – розрахунки:
 - > норм витрати різального, абразивного інструмента, штампів, пресс-форм, пристосувань;
 - > подетальних норм витрати матеріалів на виріб;

- > норм витрати матеріалів на тару й упакування;
 - > використання деталей і складальних одиниць у виробі;
 - > операційних і зведених норм часу й розцінок.
- 5) Автоматизація керування технічною підготовкою виробництва (ТПВ):
- > планування ТПВ;
 - > розрахунок потреби ресурсів (трудових і матеріальних);
 - > облік виконання планів ТПВ.

Запитання для самоперевірки

1. Перелік етапів рішення задач проектування.
2. В чому полягає автоматизація етапів проектування?
3. Місце САПР на стадії ескізного проектування.
4. Місце САПР на стадії технічного проектування.
5. Місце САПР на стадії робочого проектування.
6. Що є основною функцією САПР?
7. Які задачі вирішуються САПР?
8. Дайте визначення автоматичному і автоматизованому проектуванню.
9. В чому полягає формалізація об'єкта проектування?
10. Основні напрямки досліджень і розробок в області автоматизації проектування.
11. Місце САПР серед інших автоматизованих систем у сучасних виробництвах.

Рекомендована література:

1. *Аветисян Д.А.* Основы автоматизированного проектирования электроме-ханических преобразователей. – М.: Высшая школа, 2007. – 271с.
2. *Малюх В.Н.* Введение в современные САПР: Курс лекций. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.

5. Класифікація і види САПР

5.1. Класифікація САПР

Класифікація САПР необхідна для типізації, уніфікації й стандартизації різних типів САПР. Для об'єктивної оцінки САПР необхідно застосовувати кілька показників, що відображають як властивості системи стосовно процесу проектування, так і її експлуатаційні характеристики.

САПР можуть класифікуватися по: характеру й призначенню проєктованих об'єктів; рівню й комплексності автоматизації проектування, характеру й кількості документів, що випускаються; кількості рівнів у структурі технічного забезпечення.

По охопленню етапів проектування САПР можуть бути:

одноетапними – виконуючими лише один із ступенів проектування об'єкта;

багатоетапними – розрахованими на виконання декількох етапів проектування, що реалізують всі його стадії.

По змісту САПР є комплексом обчислювально-пошукових програм, що включають окремі інформаційні масиви, банки даних і керуючі програми, за допомогою яких забезпечується зв'язок користувачів з ЕОМ за допомогою периферійних пристроїв.

По функціональному призначенню САПР є інформаційно-обчислювальними системами, що дозволяють виконувати конструктивний і параметричний аналіз і синтез конкретних конструкцій об'єктів проектування.

Серед них можна виділити:

1) по рівню формалізації розв'язуваних задач – побудовані на повністю формалізованих методах рішення проектних задач; провідні проектні роботи, які не підлягають повній формалізації; організуючі пошук рішення задач, які не підлягають формалізації;

2) по функціональному призначенню – розрахунково-оптимізаційні; графічні; автоматизованого проектування конструкцій; графоаналітичні; підготовки технічної документації; обробки результатів експериментальних досліджень; інформаційні; технологічної підготовки програм для верстатів з ЧПУ;

3) по спеціалізації – спеціалізовані й інваріантні;

4) по технічній організації – системи з центральним процесорним керуванням; такі, що комплектуються автоматизованими робочими місцями конструктора; із власними обчислювальними ресурсами.

По призначенню проєктованих об'єктів можна виділити такі групи САПР:

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;

6) САПР програмних виробів;

7) САПР організаційних систем.

По масштабу застосування розрізняють такі види САПР:

1) Унікальні САПР, що створені для рішення великих задач; САПР такого рівня мають, як правило, міжгалузевий характер.

2) Універсальні САПР галузевого призначення, що забезпечують проектування номенклатури технічних виробів галузі (підгалузі).

3) Спеціалізовані САПР проектної організації, що реалізують можливість використання ефективних математичних моделей, методів моделювання і оптимізації на всіх основних стадіях проектування конкретного об'єкта.

4) Індивідуальні САПР, призначені для виконання окремих видів інженерних розрахунків і проектних робіт.

В даний час в загальному циклі створення нового виробу і організації його серійного випуску на підприємствах використовують автоматизовані системи, які приведені в табл. 1.

По складності об'єктів проектування виділяють САПР:

- 1) простих об'єктів, що містять до 10^2 складових частин;
- 2) об'єктів середньої складності, що містять від 10^2 до 10^3 складових частин;
- 3) складних об'єктів, що містять від 10^3 до 10^4 складових частин;
- 4) дуже складних об'єктів, що містять від 10^4 до 10^6 складових частин;
- 5) об'єктів дуже високої складності, що містять понад 10^6 складових частин.

Складовою частиною об'єкта проектування виробу, спорудження або технічного комплексу є деталь. При оцінці складності технологічного процесу можна виходити або із кількості виділених у даному процесі елементарних операцій, або поділ процесу на складові частини зв'язати номенклатурою технологічної документації, що випускається.

За рівнем автоматизації проектування розрізняють САПР:

- 1) низькоавтоматизовані, у яких кількість автоматизованих проектних процедур становлять до 25 % загальної кількості проектних процедур;
- 2) середньоавтоматизовані, у яких кількість автоматизованих процедур становить від 25 до 50 % загальної кількості проектних процедур;
- 3) високоавтоматизовані, у яких кількість автоматизованих процедур становить від 50 до 75 % загальної кількості проектних процедур.

У групі високоавтоматизованих САПР застосовуються методи багатоваріантного оптимального проектування.

Класифікація САПР

Таблиця 1

п.п	Назва	Призначення	Застосування
	Автоматизована система наукових досліджень (АСНД)	Створення і обробка математичних моделей для об'єктів і процесів	Технічне завдання
	Система автоматичного проектування (САПР), включаючи автоматизовані системи управління процесами проектування (АСУПП), проектування (АСП), конструювання (АСК)	Розробка проектно-конструкторської документації	Технічна пропозиція Ескізний проект Робочий проект
	Автоматизована система управління технологічними процесами (АСУТП)	Виготовлення і випробування дослідного зразка	
	Автоматизована система технологічної підготовки виробництва (АСТПВ)	Технологічна підготовка виробництва	Технологічна документація

	Автоматизована система управління виробництвом на рівні підприємства (АСУП)	Виготовлення проєктованого виробу заданої серійності	
	Автоматизована система управління виробництвом на рівні галузі (АСУ)	Організація проєктування і розподілу ресурсів на проєктні роботи	

По кількості рівнів у структурі технічного забезпечення розрізняють САПР:

1) однорівневі, побудовані на базі ЕОМ середнього або високого класу зі штатним набором периферійних пристроїв, що може бути доповнений засобами обробки графічної інформації;

2) дворівневі, побудовані на базі ЕОМ середнього або високого класу й одного або декількох АРМ (робочих автоматизованих місць проєктувальників), які включають міні-ЕОМ;

3) трьохрівневі, побудовані на базі ЕОМ високого класу, АРМ і периферійного програмно-керованого устаткування.

По комплексності автоматизації етапів проєктування, установлених для даного об'єкта, розрізняють САПР:

1) одноетапні, у яких автоматизований один етап із всіх установлених етапів;

2) багатоетапні, у яких автоматизовано кілька етапів проєктування із всіх установлених для об'єкта;

3) комплексні, виконуючі всі етапи проєктування, установлені для об'єкта.

По характеру проєктної документації, що випускається, розрізняють САПР:

1) текстові, що виконують тільки текстові документи на паперових носіях;

2) текстові і графічні, що виконують текстові й графічні документи на паперових носіях;

3) виконуючі документи на машинних носіях;

4) виконуючі документи на фотоносіях.

По кількості проєктних документів, що випускаються, розрізняють САПР:

1) малої продуктивності, що випускають до 10^5 проєктних документів за рік у перерахуванні на формат 2;

2) середньої продуктивності, що випускають від 10^5 до 10^6 проєктних документів у рік;

3) високої продуктивності, що випускають понад 10^6 документів у рік.

5.2. Рівні застосування ЕОМ

Використання в проектуванні ЕОМ доцільне за умови, що задача, яка вирішується, піддається формалізації, а отримане рішення більш ефективне, ніж результати традиційного проектування. Насамперед, це задачі, що вимагають багаторазового виконання складних обчислень, ітерацій, рішення систем рівнянь, що описують процеси у проєктованих об'єктах. Ефективне також застосування ЕОМ на етапах, що вимагають кропіткої і акуратної роботи, наприклад, при оформленні технічної документації: креслень, розрахункових записок, карт технологічних процесів і ін.

Можна виділити чотири рівні застосування ЕОМ у проектуванні:

1) Результати фундаментальних і прикладних досліджень використовуються для побудови математичних моделей проєктованих об'єктів і процесів.

2) Наявні математичні моделі проєктованого об'єкта або процесу використовуються для обробки конструктивних рішень із метою виявлення найоптимальніших.

3) Оцінка варіантів комбінації, компонування математичних моделей підсистем проєктованого об'єкта.

4) Наявність моделей всіх компонентів об'єкта дозволяє виконувати проектування в повністю автоматичному режимі, що не вимагає втручання людини. При проектуванні такого рівня вирішені питання автоматичної розробки проєктної документації, зберігання архівів, планування виробництва та інше. Рівні використання ЕОМ у проектуванні не мають чітких границь: по мірі накопичення досвіду, рівень автоматизації проектування може бути підвищений.

5.3. Основні вимоги при створенні САПР

При створенні САПР керуються такими основними принципами: принцип *системної єдності*, що означає взаємозалежність окремих компонентів, що утворюють цілісну систему автоматизованого проектування, і характеристики яких формують характеристики системи в цілому;

принцип *сумісності* означає можливість спільного функціонування всіх компонентів системи, зокрема, сумісність мов, символів, кодів, інформаційних і технічних характеристик САПР;

принцип *уніфікації* орієнтує на переважне використання в САПР типових і уніфікованих елементів, що мають перспективу багаторазового застосування;

принцип *розвитку* означає можливість поповнення, удосконалювання і відновлення складових частин САПР і розширення взаємозв'язку з автоматизованими системами різного функціонального призначення. Системи, що дозволяють реалізувати цей принцип, називаються відкритими системами, що розвиваються.

Створення САПР пов'язане з виконанням певних вимог, що визначають специфіку автоматизованого проектування й враховують сучасні тенденції розвитку САПР. Відзначимо основні з них:

1) розробка машинних програмних засобів автоматизації введення й виведення даних, передачі й обробки різної проектної інформації;

2) створення банків даних, що містять систематизовані відомості довідкового характеру, необхідних для автоматизованого проектування;

3) автоматизація рішення розрахункових задач, у тому числі задач, пов'язаних зі знаходженням оптимальних проектних рішень. Для рішення таких задач використовуються як евристичні, так і математичні методи й процедури та засоби обчислювальної техніки;

4) створення інтегральних систем автоматизованого проектування, що дозволяють перейти від автоматизації окремих проектних процедур до автоматизації всієї проектно-конструкторської діяльності на основі об'єднання в єдине ціле засобів автоматизованої обробки проектної документації на малих ЕОМ із завданнями, що розв'язуються на більших обчислювальних машинах. Такі інтегральні системи повинні базуватися на розгалуженій обчислювальній мережі з розвиненим периферійним устаткуванням, орієнтованим на введення, обробку й видачу текстової та графічної інформації;

5) підвищення якості оформлення проектної документації;

6) забезпечення оперативної взаємодії людини й ЕОМ у процесі проектування на основі вдосконалення методології діалогу й прийняття проектних рішень;

7) забезпечення високої ефективності з найбільшим використанням уніфікованих модулів.

Виконання цих вимог суперечливе: висока ефективність САПР, що виражається насамперед малими часовими й матеріальними витратами при рішенні проектних задач, досягається, в основному, за рахунок спеціалізації систем, що суперечить вимозі використання в системі уніфікованих модулів забезпечення інформаційної погодженості програм, використовуваних у САПР. Інформаційна погодженість означає, що всі або більшість послідовно виконуваних процедур при рішенні проектних задач повинні обслуговуватися погодженими програмами. Дві програми вважаються погодженими, якщо дані обробки, що складають числові масиви однієї програми, не вимагають змін при переході до іншої програми. Інформаційні зв'язки й погодженість може проявлятися й у тому, що результати рішення одного завдання будуть вихідними даними для іншого завдання. Недостатня інформаційна погодженість перетворює САПР у сукупність автономних програм, що знижує якість проектних рішень.

5.4. Побудова САПР

На базі технічного й програмно-інформаційного забезпечення формується система автоматизованого проектування. При цьому можна вказати на два підходи до побудови САПР. Один підхід полягає в тому, що як основна базова конструкція САПР є автоматизовані робочі місця проектувальників – АРМ, що складаються з мінімального необхідного набору технічних і програмних засобів для організації проектування тих або інших об'єктів – деталей машино- або

приладобудування, технологічних процесів їхнього виготовлення, створення керуючих програм для верстатів із ЧПУ і т.д.

Інший підхід до будови САПР полягає в тому, що автоматизована система проектування являє собою структуроване об'єднання програмних модулів (ПМ), кожний з яких характеризується набором технічних і програмних засобів для виконання окремої програмної процедури.

Хоча проектні модулі, як і спеціалізовані (проектуючі) системи САПР, функціонують автономно, отримані ними результати у вигляді проміжних проектних рішень підлягають обов'язковому узгодженню як на горизонтальних, так і на вертикальних рівнях відповідно до встановленої ієрархії та заданих алгоритмів.

5.4.1. Підсистеми САПР. Класифікація підсистем САПР

Як будь-яка система САПР може бути розбитий на підсистеми різного ієрархічного рівня й компоненти, які за якими-небудь ознаками виділяються із загальної системи. За такі ознаки можуть бути прийняті функції, виконувані тією або іншою частиною системи; характер об'єкта, з яким працює дана підсистема; рівні абстрагування при рішенні проектного завдання; засоби проектування, що входять у дану підсистему (технічні, програмні, організаційні тощо.); ступінь універсальності підсистеми. Підсистеми САПР – це структурна частина САПР, що володіє всіма властивостями системи. Такими, наприклад, є підсистеми конструкторського й технологічного проектування, підсистеми проектування деталей і складальних одиниць, проектування різного роду механізмів, підсистема проектування ходових систем й т.п. У рамках кожної із цих підсистем виконуються силові й динамічні розрахунки, аналіз і синтез механізмів, виконується пошук оптимальних параметрів об'єкта проектування, за допомогою графічних засобів користувач може виконувати необхідні геометричні побудови й т.д. *За характером виконуваних функцій відрізняють проектуючі і обслуговуючі підсистеми.* Перші служать для безпосереднього виконання процедур і операцій, а другі – забезпечують правильне функціонування проектуючих систем.

До обслуговуючих підсистем належать: моніторна підсистема САПР, призначена для організації й оптимізації керування процесом проектування; підсистема інформаційного пошуку й керування базами даних, підсистеми документування, графічного відображення і т.д. За ступенем універсальності проектуючі підсистеми поділяються на проектно-залежні (об'єктні) і проектно-незалежні (інваріантні). До першого належать підсистеми, що виконують одну або кілька проектних процедур і операцій, що безпосередньо залежать від проектного об'єкта. До інваріантних підсистем належать підсистеми, що виконують уніфіковані проектні операції, які безпосередньо не залежать від специфіки проектного об'єкта.

5.4.2. Моніторна система САПР

Моніторна система САПР призначена для організації й оптимізації керування процесом проектування й взаємодії всіх підсистем САПР. Основними функціями моніторної системи є:

формування проектних задач і контроль за проходженням пакета прикладних програм у ході рішення проектних задач;

доступ користувача до бази даних із установленням пріоритету й номера черги;

керування послідовністю підключення програмних модулів для виконання проектних процедур відповідно до заданого маршруту проектування;

керування діалоговою взаємодією користувача з технічними засобами САПР;

аналіз причин помилок, що допускаються в ході проектування і їхня інтерпретація в термінах, зрозумілих проектувальникові.

Програмне забезпечення моніторної системи реалізується тільки під керуванням операційної системи ЕОМ.

Запитання для самоперевірки.

1. Назвіть основні принципи, якими керуються при створенні САПР.
2. Приведіть класифікаційні схеми САПР і вкажіть основні ознаки, по яких вони класифікуються.
3. Класифікація САПР по складності об'єктів проектування.
4. Класифікація САПР залежно від рівнів застосування ЕОМ.
5. Склад і типи АРМ, їхнє призначення.
6. Назвіть типи підсистем САПР.

Рекомендована література:

1. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.
2. *Норенков И. П.* Автоматизированное проектирование: Учебник. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 188 с.

6. Методологія рішення проектних задач у САПР

6.1. Основи методології САПР

Найбільш важливою частиною автоматизації проектування є формалізація як самого об'єкта проектування, так і процесу проектування. Формалізація (алгоритмізація) дозволяє представити процес проектування у вигляді ланцюжка (набору) послідовно (паралельно-послідовно) виконуваних процедур перетворення інформації. В області теорії, методології і практики автоматизації проектування можна виділити такі основні напрямки досліджень і розробок:

> формалізація проектних процедур як основи побудови САПР, тобто вибір і розробка адекватних моделей технічних об'єктів, процесів проектування і процедур прийняття проектних рішень;

> структуризація і типізація процесів проектування: виділення й формування ряду системоутворюючих комплексів, інваріантних відносно області застосування і реалізуючих у сукупності внутрішні механізми функціонування САПР;

> розробка незалежних від області проектування (функціонально-інваріантних) моделей, методів і алгоритмів рішення проектних задач. Розробка на їхній основі типових проектних рішень, які можуть бути тиражовані й багаторазово використані при розробці САПР;

> створення технічних засобів САПР, спеціальних мов програмування й проектування і формування банків даних; розробка пакетів прикладних програм для вирішення груп функціонально однорідних задач автоматизованого проектування з об'єктною та проблемною орієнтацією;

> побудова елементів САПР, які вирішують прикладні завдання предметної області;

> об'єднання елементів САПР у єдину проектуючу систему;

> об'єднання систем конструкторської та технологічної підготовки, організації й управління виробництва в інтегровану САПР, яка в єдиному технологічному циклі виконує комплексне проектування об'єкта .

Розвиток методів автоматизованого проектування призвів до формування особливих концепцій і методологій основою яких є математичне моделювання. Тому в САПР систематично застосовуються сучасні математичні методи і засоби обчислювальної техніки в процесі обґрунтування й прийняття проектних рішень, а також в організації проектного процесу та керуванні ним.

6.2. Методологічні принципи сучасного проектування

6.2.1. Системний підхід до об'єктів проектування

Дослідження в області методології проектування систем уперше з'явилися в 50-ті роки. Цими дослідженнями був зроблений істотний крок у напрямку впорядкування основ проектування в техніку (й не тільки в техніку) і переходу з позицій мистецтва на наукові основи. І незважаючи на те, що в будь-якому проектуванні є і, імовірно, завжди буде присутній елемент мистецтва, внесеного талантом, уявою й досвідом конструктора, проте багато інших елементів уміння проектувати повинні опиратися, головним чином, на наукові основи й строгі інженерні рішення. У цьому одна з головних особливостей сучасного проектування, яка визначає вимоги до кваліфікації конструкторів, до методів і засобів рішення проектно-конструкторських задач і до організації процесу проектування.

Однією з тенденцій науково-технічного прогресу є ускладнення конструкцій машин. По своїй структурі й по процесу створення такі машини – це деякі системи, до дослідження й проектування яких можна підійти з єдиної системної точки зору незалежно від їхньої конструктивної особливості й

призначення. По суті, це означало формування нових методологічних принципів дослідження й проектування об'єктів, що подаються у вигляді систем, для яких характерні такі положення:

1. При дослідженні об'єкт як система опису його складових елементів не носить самодостатнього характеру, тому що елемент описується не «як такий», а з урахуванням його місця в системі і його впливу на властивості об'єкта в цілому.

2. Властивості об'єкта в цілому породжуються із властивостей складових його елементів, і навпаки, властивості елементів породжуються з характеристик цілого.

Є властивості, які належать тільки всій системі в цілому. Такою, зокрема, властивістю є стійкість динамічних систем; вона належить тільки всій системі й не може бути приписана якій-небудь її частині окремо. Так, при з'єднанні декількох підсистем в одну систему не можна сказати, що вона буде стійкою, якщо її частини стійкі, тобто не змінюють свого стану під впливом відповідних збурювань. І навпаки, нестійкі підсистем при об'єднанні можуть утворити стійку

3. Одні і ті самі елементи, як і об'єкт у цілому, що мають різні властивості й характеристики, можуть переходити з одного стану в інший, змінювати свій рух і ступені свободи при впливі на них відповідних керуючих сигналів.

4. При системному підході дослідження системи виявляється, як правило, невіддільним від дослідження умов її існування.

5. При проектуванні складних технічних систем, що є об'єктами розробки в САПР, системний підхід проявляється також в структурності проектованої системи, тобто можливості опису системи шляхом дослідження взаємозв'язку між її підсистемами й елементами.

6. Ієрархічність – коли кожна підсистема або елемент на своєму рівні може розглядатися як система.

7. Множинність опису – можливості дослідження системи на основі безлічі математичних моделей.

Системний підхід до проектування пов'язаний з необхідністю рішення двох класів задач – аналізу й синтезу.

Одна з істотних властивостей системи – можливість її поділу на частини (підсистеми, елементи). Чим складніше система, чим детальніше потрібно досліджувати вплив окремих її елементів на властивості системи, тим на більшу кількість підсистем вона розбивається.

Важливим принципом системного проектування є принцип стандартизації, типізації й уніфікації підсистем, що мають особливе значення при автоматизованих методах проектування.

Таким чином, застосування принципів системного підходу до рішення проектного завдання означає, по суті, рішення задачі для частини з урахуванням цілого.

6.2.2. Рівні проектування складних технічних об'єктів в САПР

Блочно-ієрархічне проектування. Проектування складних технічних об'єктів пов'язане з постановкою й рішенням складних і трудомістких задач великої розмірності, для яких характерна велика кількість змінних у математичних моделях, що описують проєктований об'єкт. Реалізація таких задач у САПР потребує значних витрат машинного часу й пам'яті ЕОМ.

Процес проектування складних об'єктів можна істотно спростити, якщо проєктований об'єкт розчленувати на частини, звівши загальне завдання проектування до автономного рішення окремих задач суттєво меншої розмірності. При цьому, дотримуючись відомих принципів системного аналізу, зв'язки окремих елементів об'єкта один з одним замінюють відповідними реакціями, які називаються зовнішніми умовами.

За основу розчленування об'єкта на частини беруть ієрархічні рівні, що відбивають ступінь деталізації опису об'єкта. На вищому рівні використовується найменш деталізоване поняття про об'єкт, що відбиває тільки його загальні риси й особливості. На більш низькому рівні ступінь подробиці опису об'єкта зростає – тут уже розглядається не об'єкт у цілому, а його окремі частини (блоки), наприклад, не електровоз, а його електродвигуни, електричні апарати, ходова частина і т.д. На ще більш низькому рівні об'єктами проектування є складові частини попереднього рівня – вузли електродвигуна, контактори, реле, складові елементи ходової частини і т.д. Подібний поділ проєктованого об'єкта на блоки (підсистеми й елементи) дозволяє на кожному ієрархічному рівні сформулювати й вирішити досить прості задачі, результати яких піддаються аналізу і з'ясуванню.

Таким чином, ієрархічні рівні являють собою рівні опису проєктованого об'єкта, що різняться ступенем деталізації при відображенні його властивостей. Такі рівні проектування називаються також горизонтальними рівнями або рівнями абстрагування. Поділ проєктованого об'єкта на частини (блоки) відбиває принцип декомпозиції.

Застосування зазначених принципів – ієрархічності декомпозиції – разом з розв'язуваними при цьому задачами аналізу й синтезу і становить основний зміст блочно-ієрархічного проектування.

Методологія блочно-ієрархічного проектування базується на трьох основних концепціях:

1) розбивка й локальна оптимізація, відповідно до якої проєктовані частини й елементи об'єкта оптимізуються з наступною оптимізацією об'єкта в цілому;

2) використання принципу абстрагування, відповідно до якого в математичних моделях проєктованих об'єктів відбиваються тільки найбільш суттєві фактори й властивості об'єкта;

3) застосування принципу повторюваності, що полягає у використанні досвіду проектування аналогічних об'єктів.

Разом з тим блочно-ієрархічні методи проектування складних об'єктів, що представляються у вигляді багаторівневої ієрархічної конструкції,

впливають як на структуру спеціального програмного забезпечення САПР, так і на структуру технічних засобів САПР.

Вертикальні рівні проектування. Крім опису проектного об'єкта за ступенем подробиць його властивостей, що породжує горизонтальні ієрархічні рівні проектування, виділяються також вертикальні рівні проектування, що характеризують задачі, які вирішуються при проектуванні об'єкта.

Найважливіші із цих рівнів – функціональний, конструкторський і технологічний; у свою чергу ці рівні можуть бути розбиті на більш низькі ієрархічні рівні.

Функціональне проектування відображає основні принципи функціонування фізичних або інформаційних процесів, що протікають у проектованому об'єкті. Функціональне проектування пов'язане з аналізом і синтезом структурних і кінематичних схем об'єкта, включаючи визначення найважливіших його параметрів і характеристик і формування вимог до них, вибір структури об'єкта, його складових частин. За результатами функціонального проектування формулюються вимоги до вихідних параметрів об'єкта й складається технічне завдання на його проектування.

Конструкторське проектування полягає в реалізації результатів функціонального проектування. На цій стадії проектування визначаються геометричні форми об'єкта, вирішуються задачі вибору матеріалів, типу розмірів; будуються компоновочна й конструктивна схеми об'єкта, визначаються його геометричні розміри. Результати конструкторського проектування відбиваються в конструкторсько-технологічній документації.

Технологічне проектування полягає в рішенні задачі технологічної підготовки виробництва. При цьому розробляються принципові схеми технологічних процесів, маршрутів, і операцій виготовлення деталей, складальних одиниць, вибираються інструмент і технологічне оснащення; для станків з ЧПУ підготовляються керуючі програми.

6.3. Пошук аналогів

Однієї з важливих задач проектування є завдання доцільності початку проектування і його напрямку. Незважаючи на те, що в більшості випадків неможливо знайти прототип, повною мірою задовольняючий всім вимогам технічного завдання, існування аналогів може значно спростити процес проектування або, принаймні, звузити напрямок пошуку технічних рішень. Аналогом об'єкта проектування може бути існуючий об'єкт або існуюче технічне рішення, показники якості й частина ознак якого задовольняють вимогам технічного завдання.

Для пошуку аналога необхідно вказати необхідні ознаки якості, їхні значення, а також класифікаційні ознаки в довільній кількості й порядку, обумовленому характером розв'язуваної задачі.

Обов'язковим елементом автоматизованої системи проектування повинна бути підсистема пошуку аналогів, функцією якої є пошук аналогів у переліку

виробів, на які є технічна документація. Складовими частинами типового переліку виробів можуть бути:

- > перелік найменувань або номерів виробів;
- > список показників якості поданому класу об'єктів;
- > список класифікаційних ознак;
- > дані про наявність документації, адреса її власника.

Крім цих даних, система може видати список вимог, яким не задовольняють знайдені аналоги. У ряді випадків, поліпшення деяких показників обраного аналога більш ефективно, ніж розробка нового об'єкта або процесу. Для цього необхідно мати у системі, що проектує, підсистему оптимізації.

6.4. Автоматизація пошуку технічних рішень

На початкових стадіях проектування (розробка технічної пропозиції й ескізного проекту), закладаються фізична й технічна основи майбутнього виробу. Прийняті на цих етапах рішення багато в чому визначають техніко-економічні основи майбутнього виробу або процесу.

Для ухвалення оптимального рішення необхідно розглянути безліч можливих рішень: якість рішення безпосередньо пов'язана з повнотою й глибиною пошуку. Провести досить повний літературний і патентно-ліцензійний пошук традиційними засобами практично неможливо – настільки великі обсяги науково-технічної інформації.

Всі наступні етапи процесу проектування – конструювання – можна представити як цілеспрямовану переробку проектної інформації у бік поліпшення деталізації проектного рішення. Ці етапи досить добре формалізовані й алгоритмізовані і їхня автоматизація не викликає особливих проблем (крім проблеми трудомісткості й фінансування).

Разом з тим створення чіткого алгоритму пошуку, аналізу й синтезу інформації залишається однією з найскладніших задач автоматизації. Для сучасних об'єктів проектування простір можливих рішень виявляється настільки великим, що проблему представляє навіть не розгляд можливих рішень, а просте визначення кількості їхніх можливих варіантів. Відсутність чітких алгоритмів визначення перспективного напрямку пошуку рішень і прямого цілеспрямованого вибору кращого з них унеможливує автоматизацію цього етапу проектування, оскільки потужності навіть сучасних суперЕОМ недостатньо для розгляду всіх можливих варіантів. У зв'язку із цим в автоматизації пошуку і обробки інформації сформувалися три основних напрямки:

- Інформаційно-пошукові системи (ІПС);
- Інформаційно-логічні системи (ІЛС);
- системи спрямованого пошуку.

Основу автоматизованого проектування в ІПС складає процес знаходження із задалегідь занесених в інформаційний банк систем такого проектного рішення, ознаки й властивості якого збігаються із закладеними у

вихідних даних. Роботу ІПС можна зрівняти з роботою в архіві: якщо інформація зберігається в упорядкованому стані, то досить швидко можна або відшукати необхідну інформацію, або визначити факт її відсутності. ІПС фіксує певний досягнутий стан і не передбачає проектування принципово нової технології.

Основу автоматизованого рішення в ІЛС складають аналітичні й логічні залежності, що зв'язують параметри оброблюваної заготовки зі структурою й характеристиками технологічного процесу й оснащення для її виготовлення, також стоїть питання і про технологію складання. ІЛС, на відміну від ІПС, мають більш широкі можливості – вони здатні «придумати», нове рішення на основі інформації, що зберігається. ІЛС виконує:

- > синтез припустимих технічних рішень з вузлів високого рівня ієрархії;
- > синтез припустимих ТР із використанням елементів всіх рівнів ієрархії;
- > синтез ТР із заданими структурними елементами.

Окремо стоять методи машинного синтезу технічних рішень, частина яких являє собою машинну реалізацію відомих евристичних методів. Евристичні методи, незважаючи на відмінності їхньої структури й особливостей застосування, мають загальні риси: поділ процесу рішення завдання на ряд частин і їхнє ітеративне виконання в деякій послідовності. Типовими основними етапами можуть бути:

- > формулювання задачі;
- > розчленування рішення на складові частини;
- > пошук альтернативних рішень кожної частини;
- > пошук протиріч між комбінаціями рішень складових частин;
- > визначення відповідності комплексного рішення вимогам технічного рішення;
- > вибір прийомів перетворення незадовільного рішення;
- > вибір напрямку пошуку перспективних рішень;
- > вибір перспективних рішень.

Найпростіші з них засновані на комбінаторному перебиранні комбінацій ознак, що відрізняють один варіант технічного рішення від іншого, і метод морфологічного аналізу. Проектований об'єкт розділяється на окремі частини (фрагменти або вузли); відомі технічні рішення вузлів розглядаються в послідовних сполученнях. Таким чином, можна синтезувати різні варіанти рішення поставленого завдання, комбінуючи в різних сполученнях варіанти рішень фрагментів.

Інший метод – метод проб і помилок – складається із двох послідовних етапів: на першому етапі програма із задалегідь заданої області можливих рішень вибирає гіпотезу (можливе рішення), а на другому – оцінює його якість, використовуючи задалегідь вибрані критерії оцінок. У разі незадовільного рішення програма, аналізуючи результати попередніх оцінок, визначає (уточнює) напрямок пошуку необхідного рішення. Формалізація рішення

основних задач на початкових стадіях проектування дозволяє створити повністю автоматизовану систему проектування, складовою частиною якої буде підсистема пошуку й вибору технічних рішень, функції якої в даний час виконує проектувальник.

6.5. Експертні системи

Сучасні системи автоматизації проектування, особливо його перших етапів, впритул підійшли до необхідності використання елементів штучного інтелекту. Зокрема, в САПР, у проектних і передпроектних наукових дослідженнях на стадії прогнозування велике поширення одержали прикладні експертні системи.

Під експертною системою мають на увазі прикладну програму або пакет прикладних програм, у якій для рішення завдання використовуються практичний досвід і знання експерта. Застосування експертних систем найбільш ефективно для рішення погано визначених задач, задач із неточно визначеними вихідними даними, в яких відсутній точний алгоритм рішення, задач із галузей науки, у яких немає вивіреної теорії або підданих постійним змінам.

Сучасні експертні системи здатні видавати рішення, що не уступають по точності висновкам кваліфікованого спеціаліста у вузькій предметній області. Експертна система складається із двох основних частин:

- > оболонки, що забезпечує спілкування з користувачем та прийняття й аргументацію рішень;
- > бази знань по проблемі, що розв'язується, які можна розширювати і модифікувати.

Для налагодження експертної системи на конкретну проблемну область необхідно заповнити базу проблемно-залежних знань. Експертна система переналагоджується на іншу предметну область шляхом простої заміни. По сукупності принципів особливостей експертних систем, серед них можна виділити:

за характером:

- > прикладні, орієнтовані на конкретну предметну область і, внаслідок цього, що використовують більші обсяги проблемно-залежних знань;
- > універсальні, що містять універсальні знання по ряду наукових дисциплін і процедури логічного висновку та забезпечують придатність системи в ряді проблемних областей.

за орієнтацією на користувача:

- > орієнтовані на спеціалістів області обчислювальної техніки, що потребує консультації при рішенні задач прикладного характеру в конкретній предметній області. Мова спілкування орієнтована на використання спеціальних конструкцій, у тому числі – логічних;
- > призначені для використання прикладними фахівцями, що недостатньо володіють обчислювальними засобами. Від попередніх ці системи

відрізняє використання зручної (для конкретної предметної області) мови спілкування, максимально наближеної до природної мови.

Запитання для самоперевірки

1. В чому полягає системний підхід до об'єктів проектування?
2. Що таке блочно-ієрархічне проектування?
3. Призначення підсистеми пошуку аналогів.
4. Дайте характеристику типам автоматизації пошуку і обробки інформації.
5. Що таке методи машинного синтезу технічних рішень?
6. Призначення експертних системи.

Рекомендована література:

А.В.Петров. Проблемы и принципы создания САПР. – М.: Высшая школа, 1990. – 350 с.

7. Види забезпечення САПР

Згідно з державним стандартом 23501.0-91 використовувані в САПР засоби по сукупності виконуваних функцій розподілені на сім базових видів забезпечення: технічне, програмне, лінгвістичне, інформаційне, математичне, методичне, організаційне (рис. 2). Слід зазначити, що засоби обчислювальної техніки відіграють вирішальну роль при створенні САПР, але вони не можуть розглядатися окремо від інших видів забезпечення, і особливо, від інформаційного й програмного.

7.1. Технічні засоби САПР

Технічне забезпечення – сукупність технічних (апаратних) засобів, що використовують в автоматизованому проектуванні для отримання, переробки, зберігання й передачі інформації, для організації спілкування користувача з системою, у тому числі й виготовлення проектної документації.

До технічного забезпечення САПР належать обчислювальні пристрої, засоби оргтехніки, устаткування для автоматичного вимірювання, засоби передачі даних, а також апаратура для їхньої діагностики й ремонту.

За функціональним призначенням серед основних технічних засобів САПР можна виділити такі групи пристроїв:

- підготовки й введення даних;
- передачі даних;
- програмної обробки даних;
- відображення й документування даних;
- архівації проектних рішень.

Засоби підготовки й введення даних призначені для підготовки, введення, первинної обробки й редагування даних для автоматизованого проектування. Вони забезпечують кодування інформації, занесення даних на машинні носії,

введення даних в ЕОМ, візуальний контроль і редагування даних при введенні алфавітно-цифрової й графічної інформації. До пристроїв цієї групи належать:

- клавіатури (алфавітно-цифрового й спеціальні);
- пристрої зчитування даних з магнітних носіїв (дисків, стрічок, карт);
- пристрої читання перфоносіїв;
- пристрої сканування текстів;
- пристрої сканування креслень;
- пристрої зчитування штрих-коду;
- пристрою введення графічної інформації (графоповторювачі, дигитайзери).

Засоби передачі даних забезпечують дистанційний зв'язок між віддаленими компонентами САПР по традиційних системах зв'язку (телефонних, телеграфних, оптоволоконних лініях, за допомогою радіоканалів і супутникового зв'язку), а також за допомогою спеціального (мережевого) устаткування.

До пристроїв, що забезпечують передачу даних по традиційних каналах належать модеми, радіо модемні пристрої супутникового зв'язку; до складу мережевого забезпечення входять: мережні карти, прийомопередавачі, пристрої сполучення і концентрації, а також кабелі, крос-панелі та інше.



Рис.2. Структура САПР

Засоби програмної обробки даних призначені для прийому, програмної обробки, накопичення даних і їхнього виведення на машинні носії, на пристрої відображення та канали зв'язку. До пристроїв цієї групи належать ЕОМ загального призначення і спеціалізовані.

Засоби відображення й документування даних забезпечують оперативне подання запитуваних даних і проектних рішень, а також виведення проектною документації на проміжні носії. До пристроїв цієї групи належать:

- пристрої візуального відображення інформації (алфавітно-цифрові й графічні дисплеї, панелі й табло відображення інформації, мнемосхеми);
- пристрої виведення інформації на папір (пристрої друку, графопобудувачі);
- пристрої виведення на машинні носії запису (магнітні носії, перфосії);
- пристрої друку штрихового коду;
- пристрої виведення спеціального призначення (координатографи, фотоскладальні пристрої та інше).

Засоби архівації проектних рішень забезпечують зберігання, контроль, відновлення й копіювання проектних рішень САПР, а також довідкових даних (у тому числі нормативно-технічної документації). Контроль, відновлення й розмноження даних архіву проектних рішень, що збережені на магнітних носіях, виконуються всіма групами технічних засобів.

Вимоги до технічних засобів

Сучасні технічні засоби САПР повинні відповідати таким вимогам: забезпечувати можливість оперативної взаємодії проектувальників з ЕОМ; мати достатню продуктивність і обсяг оперативної пам'яті ЕОМ для рішення задач всіх етапів проектування; забезпечувати можливість ефективної одночасної роботи з колективними базами даних і периферійними пристроями необхідної кількості користувачів; надавати можливість розширення й модернізації системи; мати високу надійність; мати прийнятну вартість.

Рівні технічних засобів

Для виконання зазначених вимог, технічні засоби САПР повинні мати багаторівневу структуру. На вищому рівні САПР технічні засоби забезпечують моделювання об'єктів проектування, рішення оптимізаційних задач, пов'язаних з великими обсягами обчислень. Для цього використовується обчислювальна техніка високої продуктивності, аж до суперкомп'ютерів, об'єднаних мережними засобами в єдиний комплекс для спільного використання ресурсів. Технічні засоби середнього рівня призначені для організації роботи користувача при вирішенні задач проектування середньої складності, введення й редагування даних, виконання типових розрахунків, перегляду і одержання твердої копії результатів. Оскільки подібні завдання не забезпечують повне завантаження ресурсів, то доцільне використання багато термінальних комплексів: комп'ютерів середньої або високої продуктивності з підключеними до нього терміналами (звичайно – від 8 до 16). Більш дорогим є

використання декількох комп'ютерів середньої й малої продуктивності, підключених до локальної мережі – така організація забезпечує спільне використання інформаційних ресурсів, але не обчислювальних.

Технічні засоби нижнього рівня призначені для рішення технологічних задач: обслуговування процесу автоматизованого проектування, виготовлення документації й зв'язку проектування з виробництвом виробів. На цьому рівні можна використовувати малопродуктивні комп'ютери, що мають досить великий обсяг зовнішньої пам'яті, з різними периферійними пристроями (графопопобудувачі, пристрої друкування, засоби оперативного зв'язку з технологічним устаткуванням) і підключені до загальної локальної мережі. Таким чином, серед технічних засобів САПР велике значення мають засоби організації локальної обчислювальної та інформаційної мереж. До середини 80-х років у САПР використовувалися локальні обчислювальні мережі, побудовані за радіальною схемою: центральний комп'ютер із широким набором периферійних пристроїв, до якого підключено кілька автоматизованих робочих місць. Недоліки такої мережної архітектури особливо виявилися при використанні розподілених баз даних. Тому в цей час більше поширення одержали мережі кільцевої або магістральної структури, а також комбіновані. Серед мереж магістральної архітектури найбільше поширення одержали локальні мережі архітектури Ethernet. Дані передаються по коаксіальному кабелю, розділеному на сегменти довжиною до 500 м. Кабель з'єднує адаптери, які чотирма проводами типу «кручена пара» довжиною до 50 м пов'язаний з абонентськими пунктами. До одного сегмента може бути підключене до 100 мережних адаптерів, а загальна кількість адаптерів може досягати до 1024 при максимальній відстані між ними до 2,5 км.

Напрямки розвитку

У розвитку технічних засобів САПР проявляються такі тенденції:

- підвищення продуктивності комп'ютерів, збільшення обсягів оперативної й зовнішньої пам'яті комп'ютерів;
- розвиток швидкодії засобів організації локальних і глобальних інформаційних мереж;
- збільшення швидкодії й підвищення якості пристроїв для одержання твердої копії;
- удосконалювання пристроїв введення, у тому числі пристроїв введення голосових повідомлень, розпізнавання жестів;
- удосконалювання пристроїв оперативної візуалізації: збільшення розмірів графічних екранів, сполучення їх із пристроями введення (контактні екрани).

7.2. Програмне забезпечення САПР

Розробка САПР – це, передусім, створення спеціального програмного забезпечення. Від характеристик і особливостей спеціального програмного забезпечення певним чином залежать можливості САПР щодо розв'язання проектних задач. До спеціального програмного забезпечення входять галузеві

САПР, окремі пакети прикладних програм, інструкції по їх використанню і вхідні мови. Звертаючись до їх послуг, інженер в першу чергу повинен ознайомитись з мовами спілкування з ЕОМ, які служать для опису задач і об'єктів проектування. Далі він повинен вивчити склад і можливості кожної з прикладних програм, оскільки ефективність і умови їх застосування залежать від особливостей конкретних ситуацій. Для повного використання можливостей САПР потрібно знати структуру і принципи об'єднання програм, які реалізуються в системі.

Програмне забезпечення (ПЗ) САПР – сукупність машинних програм, призначених для автоматизованого одержання проектних рішень і представлених у заданій формі (у вигляді текстових документів або записаних на машинних носіях), а також документації щодо їх використання.

Програма – закінчена сукупність команд, необхідних для виконання певного завдання.

Програмування – процес складання програми. Серед програмного забезпечення можна виділити три основні групи: базове, загальносистемне і прикладне.

7.2.1. Базове ПО

Базове програмне забезпечення забезпечує погоджену роботу технічних засобів, що використовуються для автоматизації проектування. Ці програми також прийнято називати програмами низького, найнаближенішого до технічних засобів рівня. Вони розробляються для конкретних апаратних засобів і, як правило, постачаються разом з ними. Серед цього забезпечення можна виділити сукупність програм базової системи введення – виведення (BIOS) і драйвери.

7.2.2. Загальносистемне забезпечення

Загальносистемне програмне забезпечення призначене для керування обчислювальним процесом, забезпечення виконання програм обробки інформації, зв'язку користувача з комплексом технічних засобів, а також для забезпечення погодженої роботи різних технічних засобів, згладжуючи особливості їхніх базових програм. До складу загальносистемного програмного забезпечення входять операційні системи (ОС) і системні утиліти – (стандартні допоміжні й обслуговуючі програми). У ряді випадків до загальносистемних програм належать також транслятори мов програмування. Загальносистемні програмні засоби не відображають специфіку САПР, оскільки розробляються для різних додатків обчислювальної техніки.

Конкретний склад загальносистемного програмного забезпечення залежить від складу технічних засобів обчислювального комплексу САПР і встановлених режимів обробки інформації. Спеціалізоване програмне забезпечення САПР створюється з урахуванням організації й можливостей загальносистемного програмного забезпечення. У цілому склад і структура

програмного забезпечення визначаються складом і структурою САПР і її підсистем.

Основною функцією операційної системи є забезпечення процесу введення, виведення й обробки інформації, зберігання даних і керування ними, розподілу ресурсів технічних засобів допоміжних операцій, діалоговий взаємозв'язок з користувачем у процесі проектування; рішення, загальноматематичних задач; зберігання, пошук, сортування, модифікація даних, необхідних при проектуванні, захист їхньої цілісності й захист від несанкціонованого доступу; контроль і діагностика роботи обчислювального комплексу.

Можливості сучасних комплексів засобів автоматизації більшою мірою визначаються операційними системами, ніж технічними пристроями. Операційні системи організують одночасне рішення різноманітних задач на ЕОМ, динамічний розподіл каналів передачі даних і зовнішніх пристроїв між задачами, планування потоків задач і послідовності їхнього рішення з урахуванням встановлених пріоритетів, динамічний розподіл пам'яті обчислювального комплексу, забезпечують роботу в різних режимах (з фіксованим і змінним ходом задач, у режимі пакетної обробки даних, в інтерактивному режимі). Операційна система є складним комплексом програм, розробка, тестування й налагодження яких вимагають великих трудових і часових витрат. Трудозатрати чотирирічної розробки ОС нового напрямку IBM/360 перевищили 5000 людино-літ.

ОС займає частину обчислювальних ресурсів системи: процесорного часу й обсягів оперативної й зовнішньої пам'яті для розміщення в ОС програм, що входять до її складу. Чим більші можливості має ОС, тим більше потрібно для неї ресурсів. Операційні системи створюють для одностипних технічних засобів: у межах однієї операційної системи можна конфігурувати (підбирати склад і структуру вхідних програмних засобів, що входять в ОС) стосовно до використовуваних технічних засобів і кола розв'язуваних задач. Одним з перспективних напрямків розвитку ОС вважалася розробка спеціалізованих (проблемно-орієнтованих) систем. Перевагою таких систем є необхідність мати менші (в 2-3 рази) системні ресурси. Однак зниження вартості технічних компонентів, підвищення їхньої швидкодії зняли обмеження на застосування ОС загального призначення. У загальному випадку в складі ОС можна виділити два основних компоненти:

керуючу програму, що здійснює керування даними, керування завданнями, керування задачами;
програми обробки – сервісні й стандартні програми.

Керуючі програми

Керування даними – організація ідентифікації, зберігання й вибірки даних, планування й керування обміном даними між внутрішньою й зовнішньою пам'яттю й зовнішніми пристроями; подання користувачеві й прикладним програмам доступу до даних.

Керування завданнями – контроль і обробка проходження потоку задач без втручання оператора: підготовка задач, організація черги задач, зчитування завдання з потоку, розподіл ресурсів пристроїв введення-виведення, передача керування і т.д.

Керування задачами здійснюється основною резидентною керуючою програмою – супервізором, який називають також монітором, або диспетчером. Супервізор при виконанні програм користувача перебуває в оперативній пам'яті й виконує такі функції: обробку переривань, задоволення запитів до основної пам'яті, передачу керування модулями задач, завершення задач і т.д. Супервізор реалізує один з п'яти режимів роботи комплексу обчислювальних засобів: рішення одного завдання; пакетну обробку в режимі послідовного рішення; пакетну обробку в режимі мультипрограмування; роботу в режимі розподілу часу; роботу в реальному масштабі часу.

Програми обробки

Сервісні програми (системні утиліти) виконують допоміжні функції забезпечення працездатності системи й обробки даних: тестування технічних засобів, виявлення несправностей, усунення програмних конфліктів, організація черги задач, забезпечення зв'язку між пристроями, передачу даних між пристроями введення-виведення пам'яті, зберігання даних і їхню модифікацію, ведення архівів, автоматичне резервне копіювання, відновлення даних і інші.

7.2.3. Прикладне програмне забезпечення

Прикладне програмне забезпечення забезпечує виконання певних (спеціальних) проектних процедур і операцій: рішення задач електромеханіки, кінематики, динаміки, міцності; проектування маршрутних і операційних технологічних процесів; технічне нормування; проектування стандартних деталей, оснащення і т.п., значною мірою визначаючи можливості і ефективність САПР у цілому. Обов'язковою складовою частиною прикладних програм, що використовуються при проектуванні, є засоби двовимірної і тривимірної машинної графіки. Прикладні програми розробляються на основі математичного забезпечення конкретної області проектування. Через це набір прикладних програм індивідуальний і визначається специфікою й обсягом розв'язуваних за допомогою САПР-задач. Розробка прикладного програмного забезпечення є однією з найвідповідальніших, трудомістких і дорогих проблем створення САПР.

7.2.4. Розробка програмного забезпечення САПР

Основна вимога до програмного забезпечення – вибір такої структури програм і способів їхньої реалізації, які сприяли б зменшенню витрат часу і засобів на розробку й супровід програм. При цьому під супроводом програми розуміється діяльність, спрямована на виправлення недоліків і поліпшення програми в процесі її експлуатації. Програмне забезпечення САПР

розробляється після створення математичного, лінгвістичного й інформаційного забезпечення.

Етапи розробки програмного забезпечення

Програмне забезпечення САПР створюється на основі компонентів математичного забезпечення з використанням базового програмного забезпечення засобів обчислювальної техніки. Робота над створенням прикладного ПЗ включає в себе:

а) вибір або розробку єдиних для всіх підсистем САПР вхідних алгоритмічних мов, побудову ієрархічної структури програмного забезпечення САПР із поділом на модулі;

б) вибір типу пакета прикладних програм і мов програмування для модулів всіх рівнів;

в) аналіз функцій, що відповідають програмному забезпеченню, поділ функцій керування між операційною системою й керуючими програмами пакетів і формулювання технічного завдання, у якому враховуються вимоги користувачів;

г) розробку специфікації на окремі програми, що входять до складу програмного забезпечення. Специфікації повинні містити опис перетворення програмної інформації, вимоги до економічності (швидкодії, необхідних ресурсів), надійності, а також перелік необхідної програмної документації. На підставі розроблених специфікацій проектуються схеми алгоритмів з уточненням методів, алгоритмів і моделей, що входять у математичне забезпечення;

д) кодування – запис текстів програмних модулів у кодах обчислювальної машини, виявлення необхідності введення приватних баз даних і розробки інформаційного інтерфейсу. Більш раціональним є запис вихідного коду (тексту) програм на мовах високого рівня з подальшим автоматичним перекладом (трансляцією) у машинний код;

е) налагодження програмного забезпечення, метою якого є виявлення й усунення допущених при розробці помилок. Налагодження виконується методом тестування: виконанням тестів - контрольних задач із відомими правильними результатами рішення. Розробку завдань тестування модулів виконують при розробці структури їхніх алгоритмів. Відмінність результатів, отриманих при виконанні тесту програми, свідчить про наявність у ній помилок. Разом з тим відсутні методи, що дозволяють виявити усі помилки в розробленому програмному забезпеченні, тому для кожної конкретної програми доводиться розробляти свою програму тестування програмного забезпечення. Програмне забезпечення САПР розробляють відповідно до основних системних принципів: системної єдності, розвитку, сумісності, стандартизації, технологічності й адаптованості.

Структура ПЗ

За визначенням Єдиної системи програмної документації, структурними частинами ПЗ є прикладні системи, пакети прикладних програм (ППП), комплекси й компоненти.

Пакет прикладних програм – сукупність програм, об'єднаних можливістю спільного застосування або орієнтацією на рішення певного класу задач.

Прикладна система – це ППП, що має власну проблемно-орієнтовану мову проектування, орієнтована на конкретну прикладну область.

Комплекс – складна програма, у якій можна виділити кілька складових частин – компонентів, які можуть мати власні компоненти й так далі.

Компоненти – складові частини програм, що мають своє функціональне призначення.

ППП простої структури складаються з набору функціональних програм, кожна з яких призначена для виконання певної проектної операції або процедури. Взаємодія програм, обмін даними між ними виробляється засобами операційної системи під безпосереднім управлінням користувача. Такі пакети прості в розробці, автономні, однак досить незручні у використанні через відсутність єдиного інтерфейсу як з користувачем, так і між програмами. Розвинені ППП, як правило, мають окремий модуль (монітор), який керує взаємодією програм як між собою, так і з користувачем.

Частина монітора – діалогова підсистема – забезпечує зв'язок з користувачем, а також планування розподілу ресурсів обчислювальної системи: вибір необхідних функціональних програм, настроювання їх інформаційних і керуючих зв'язків, розподіл задач по рівнях технічних засобів, динамічний розподіл оперативної пам'яті. Для виконання цих функцій у моніторі можна виділити рівні і підсистеми: локальної мережі, окремих робочих станцій і окремих ППП.

До спеціального (орієнтованого на рішення конкретних проектних задач) програмного забезпечення належать робочі програми, які автоматично запускаються з бібліотечних і генерованих модулів для кожного нового об'єкта або маршруту його проектування.

При розробці ПЗ необхідно керуватися основними положеннями блочно-ієрархічного проектування складних систем, що поліпшують організацію процесу, забезпечуючи дотримання принципів модульності (блочності), ієрархічності (структурності) і низхідного проектування. Сукупність цих прийомів у додатку до розробки програм утворює нову, технологію програмування, що носить назву структурного програмування. Структурне програмування забезпечує: одержання програм із чіткою, наочною та зрозумілою структурою; підвищення продуктивності праці програмістів при написанні і контролі програм; організацію колективної паралельної розробки частин ПЗ; створення відкритих програмних систем; істотне полегшення комплексного налагодження частин ПЗ і їхнє інформаційне узгодження.

Модульна структура ПЗ

Модуль – структурна складова ПЗ, що розглядається як єдине ціле на певних стадіях його розробки або в процесі експлуатації. Модулем слід вважати бібліотечну програму або її частину чи програму, яка генерується, що здатні входити в сполучення з іншими модулями як самостійний елемент.

Генеровані модулі реалізують математичну модель системи і є результатом трансляції із вхідної мови.

Бібліотечні модулі реалізують математичні моделі елементів, типові методи й алгоритми, застосовувані при рішенні груп задач проектування типових об'єктів. Розбивку на модулі в САПР доцільно здійснювати по функціональній ознаці. Модуль виконує одну з робочих (проектних) або обслуговуючих (допоміжних) функцій. Модулі можна розширювати, замінити або вилучити. Модульність структури реалізує принцип відкритості математичного забезпечення САПР. Завдяки цьому реалізація маршрутів проектування зводиться до комбінування наявних модулів і спрощує побудову міжмодульного інтерфейсу, оскільки зміна деякого методу, алгоритму або моделі зводиться до заміни модуля.

Істотне значення має розмір модуля: застосування великих модулів спрощує побудова програм, однак робить їх менш гнучкими, зменшуючи число сполучень модулів, що скорочує можливості застосування програм. Крім того, розробка й заміна малого модуля здійснюються швидше й дешевше. Складні модулі доцільно ієрархічно розбивати на більш дрібні модулі. Наприклад, одним з модулів автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва може бути програма проектування операції механічної обробки, що, у свою чергу, може включати як самостійні модулі програму вибору верстата, проектування переходу операції, розрахунок оптимальних режимів різання, оформлення технологічної карти та інші. З'єднуючи модулі один з одним, проектувальник утворить пакети необхідної конфігурації. Процедурі складання прикладної програми з наявних модулів виконує спеціальна керуюча програма – монітор. Розбивка програм на незалежні програмні модулі дозволяє організувати їхню паралельну розробку й тим самим скоротити строки розробки ПЗ. Критерії призначення розмірів і кількості модулів відсутні: у кожному конкретному випадку необхідно шукати компроміс у вирішенні цього питання.

Рівні ПЗ

В структурному програмуванні доцільне використання принципу вкладеності – поділ модулів на ієрархічні рівні з вертикальним керуванням. Характерною рисою є те, що звертання до будь-якого модуля може відбуватися тільки з модуля більш високого рівня. Така організація припускає наявність на верхньому рівні системи єдиного модуля (провідної програми), керування яким виробляється з операційної системи. Взаємодія програм рівного рівня відбувається тільки через програму більш високого рівня. Ієрархічними рівнями проектування є системний рівень прикладних програм і рівень підпрограм.

На системному рівні конкретизуються функції ПЗ, планується його структура й склад, вибираються або розробляються мови проектування, встановлюється ступінь використання доступного для придбання готового загальносистемного і базового ПЗ, розробляються специфікації на окремі програми пакета. На рівні прикладних програм вибирається математичне забезпечення, розробляються специфічні алгоритми, установлюється модульна структура програм, вибираються структури даних, способи інформаційного інтерфейсу й мова програмування, розробляються специфікації на окремі програмні модулі. На рівні підпрограм (модулів) виробляється конкретизація типів і структур даних, здійснюється кодування алгоритмів – їхній запис обраною мовою програмування. При розробці ПЗ великих САПР можливе виділення додаткових проміжних рівнів.

Спадне проектування

Спадне проектування припускає, що планування, розробка й контроль програмної системи ведуться зверху вниз від проектування модулів вищих рівнів до більш низького. Модулі вищих рівнів можуть бути виражені прийнятою мовою програмування й попередньо налагоджені до розробки модулів нижчих рівнів.

Структурне програмування поряд з ієрархічним підходом до програмування допускає й операційний підхід, при якому модулі розробляються в порядку їхнього виконання в маршрутах проектування.

7.2.5. Принципи побудови прикладних програм

Основні вимоги до розробки програмного забезпечення можуть бути сформульовані в такому вигляді:

1. Для кожного завдання необхідно розробити чітку математичну модель і скласти підпрограму, що її реалізує.
2. Аналізом підпрограми виділити модулі, що вирішують часто виникаючі завдання і виконується їх оптимізація по швидкості виконання.
3. Для забезпечення функціональних зв'язків побудови модулів на всіх етапах розробки програмного забезпечення (при формалізації, виборі математичного методу й алгоритму і при програмуванні) виконується аналіз параметрів і така їхня розбивка на вхідні і вихідні, при якій даний модуль може ввійти як складова частина в рішення різних задач. Доцільно, щоб один модуль забезпечував рішення різних задач.
4. Модулі повинні мати властивість автономності, тобто зміна деяких параметрів чи розрахункових формул повинна викликати по можливості зміни тільки в цьому модулі.
5. Структура модулів повинна дозволяти оперативно вносити в них зміни й виправлення для рішення різних задач.
6. Інтерфейсні модулі повинні забезпечувати стикування пакетних засобів системи з іншими прикладними пакетами й системами розрахунків: з пакетом

наукових підпрограм, системою планування експериментів, системами техніко-економічного аналізу.

7. Введення й виведення даних повинно виконуватись якомога ближче до нормативних вимог.

8. Всі модулі повинні мати детальні коментарі, що дозволить використовувати їх різними фахівцями.

9. Необхідна наявність головних програм, спеціально призначених для перевірки окремих модулів і їх комплексів. Це дозволяє при передачі пакета або окремих модулів виявити правильність їхньої роботи.

Спеціальне програмне забезпечення.

Розробка САПР – це, передусім, створення спеціального програмного забезпечення. Від характеристик і особливостей спеціального програмного забезпечення певним чином залежать можливості САПР щодо розв'язання проектних задач. До спеціального програмного забезпечення входять галузеві САПР, окремі пакети прикладних програм, інструкції по їх використанню і вхідні мови. Звертаючись до їх послуг, інженер в першу чергу повинен ознайомитись з мовами спілкування з ЕОМ, які служать для опису задач і об'єктів проектування. Далі він повинен вивчити склад і можливості кожної з прикладних програм, оскільки ефективність і умови їх застосування залежать від особливостей конкретних ситуацій. Для повного використання можливостей САПР потрібно знати структуру і принципи об'єднання програм, які реалізуються в системі. Розглянемо найголовніші САПР, які застосовуються у проектуванні систем електроприводу і серед них лідера САПР AutoCAD.

Існує велика кількість програмних продуктів САПР. В першу чергу до них належать AutoCAD фірми Autodesk Inc, яка є світовим лідером серед популярних програм для створення конструкторсько-технологічних проектів та документації в багатьох галузях економіки і виробничої діяльності. AutoCAD – феномен серед програмних продуктів, чисельність його користувачів значно перевищує чисельність користувачів будь-якої іншої системи автоматизованого проектування. З часу своєї появи AutoCAD перетворився із відносно простої та невеликої програми на велику та складну. Це найскладніша САПР за своїм інтелектуальним навантаженням та необхідним ресурсом ЕОМ, головне призначення якої автоматизація виконання різноманітних креслень. Використання AutoCAD для виготовлення готового проекту складного механічного обладнання, чи будь-якої машини значно скорочує процес створення креслень та підготовки різноманітної технічної документації. Для рішення задач проектування електронних блоків, електронних перетворювачів та електроприводів розроблено значну кількість прикладних комп'ютерних пакетів. Для дослідження і проектування електронних блоків добре себе зарекомендували прикладні пакети OrCAD9 Realise, DesighnLab, Worbench, Multisim, Circuit Marker та інші.

Для вивчення та аналізу схем зручним є пакет, який по суті являє собою віртуальну лабораторію з досить широкими можливостями. Більш широкі

можливості притаманні пакету OrCAD9, який об'єднує в собі можливості аналізу, синтезу, розрахунку і конструювання електронних схем та містить значну бібліотеку.

Широкі можливості для вирішення різноманітних проблем проектування надають пакети прикладних програм MATLAB. MATLAB (Matrix Laboratory) або матрична лабораторія поставляється корпорацією Math Works як комплекс MATLAB+ Simulink+ Toolbox+ Blockset. Розділи Toolbox і Blockset є пакетами розширення для системи MATLAB і Simulink. MATLAB включає значну бібліотеку функцій (їх більше 800), більш загальні з яких входять в ядро системи, а специфічні для конкретних областей включені в склад десятків пакетів розширення (Toolboxes). MATLAB+ Simulink має два комплекти інструментів – Toolbox і Blockset. Набір розширень Toolbox належить до системи MATLAB, а набір розширень Blockset до Simulink. Найпопулярнішими є такі пакети розширення:

- Simulink – моделювання систем;
- Notebook – підготовка електронних документів;
- Symbolic – символічні обчислення;
- Optimization – рішення задач оптимізації;
- System Identification – аналіз та ідентифікація систем;
- Control System – проектування та моделювання систем управління;
- NCD – пакет імітаційного моделювання;
- Communications Blockset і Toolbox – пакети проектування та моделювання комутаційних систем.

Пакет Control System Toolbox складається з більш ніж ста різноманітних функцій для синтезу, аналізу та моделювання систем автоматичного регулювання. Функції пакету реалізують методи дослідження динамічних систем, засновані на використанні передавальних функцій і моделей для змінних станів. У пакеті реалізовані: великий набір засобів для аналізу одновимірних і багатовимірних динамічних систем (об'єктів), побудова основних характеристик систем, розробка замкнутих систем регулювання, проектування регуляторів та ін.

MATLAB є відкритою системою і надає широкі можливості по вдосконаленню існуючих та створенню нових програмних файлів, які враховують специфіку конкретної задачі.

В 2001 р. розроблено Mathcad – найпопулярніший із комп'ютерних математичних пакетів компанії MathSoft. До складу Mathcad входять кілька інтегрованих між собою компонентів – це потужний текстовий редактор для введення і редагування як текстів, так і формул, обчислювальний процесор – для проведення розрахунків у відповідності із введеними формулами і символічний процесор, що є по суті системою штучного інтелекту. Mathcad є математичним редактором, що дає змогу виконувати різноманітні наукові та інженерні розрахунки, починаючи від елементарної арифметики і закінчуючи складними реалізаціями чисельних методів. Завдяки простоті використання, наочності математичних дій, значній бібліотеці вбудованих функцій і

чисельних методів, можливості символічних обчислень, а також зручному апарату подання результатів (різноманітних типів графіків, потужних засобів підготовки друкованих елементів), Mathcad став найпоширенішим математичним додатком, який широко використовується при автоматизації розв'язання науково-технічних, інженерних та навчальних задач. Можливості Mathcad досить великі: це й розв'язування рівнянь та систем (як алгебраїчних, так і диференційних), оптимізація, побудова графіків, математичне моделювання, статистика, анімація, символічна математика та багато іншого.

Математичні панелі інструментів Mathcad дають можливість створювати матриці або міняти їх розміри; створювати програмні блоки; встановлювати значення вбудованих (системних) змінних; встановлювати одиниці вимірювання; змінювати системи одиниць; змінювати назви основних одиниць вимірювання; встановлювати генератор випадкових чисел; провадити розрахунки по формулах; провадити розрахунки по всіх формулах документу; змінювати формати чисел та види букв тощо. Mathcad має потужні засоби показу результатів обчислень за допомогою різноманітних двомірних та тримірних графіків.

7.3 Лінгвістичне забезпечення САПР

Лінгвістичне забезпечення – сукупність мовних засобів, що використовуються у САПР для подання інформації про проєктовані об'єкти, процеси і засоби проєктування. Забезпечення містить також терміни і визначення, правила формалізації мови, методи зменшення об'єму та розширення даних, які використовуються в автоматизованому проєктуванні або є результатом проєктування. Основу лінгвістичного забезпечення складають формальні мови, призначені для спілкування користувача з технічними й програмними засобами автоматизації, які можна розділити на:

- 1) мови програмування (алгоритмічні мови) – що використовуються для запису вихідного тексту (коду) розроблених програм;
- 2) мови проєктування (вхідні мови) – служать для опису об'єктів проєктування і задач на виконання проєктних процедур;
- 3) мови керування – призначені для опису керуючої інформації для програмно-керованого технологічного устаткування: фотоскладальних установок, графобудівників, металообробних верстатів з ЧПУ та інше.

Термін *мова* в контексті лінгвістичного забезпечення визначає засоби спілкування проєктувальника із САПР – систему символів або знаків (алфавіт мови) і правил, що використовуються для обміну інформацією.

Мови програмування служать для запису програм, тобто використовуються переважно при підготовці програм, а не при експлуатації САПР. Мови програмування можуть бути процедурними й непроцедурними.

Процедурні мови застосовуються для опису процесів у вигляді послідовності дій і процедур. Більшість мов програмування належать до процедурних мов, оскільки вони служать для опису обчислювальних процесів.

Непроцедурні мови застосовуються для опису семантичних мереж, структур проєктованих об'єктів та інших статичних систем.

Мови проєктування призначені для подання вихідної інформації в машинному вигляді – підготовки вихідних даних для автоматизованого проєктування, а також перетворення інформації при виконанні проєктних процедур за допомогою програмного забезпечення. Тобто, мови проєктування застосовуються користувачами САПР у процесі їхньої інженерної діяльності.

7.3.1. Мови програмування

Проблема спілкування людини з машиною виникла з початком використання ЕОМ. Основою подання інформації в середині ЕОМ є система двійкових (бінарних) кодів – у двійковому вигляді подаються числові дані й коди виконуваних операцій. При складанні програми необхідно було враховувати особливості системи машинних кодів конкретної машини, для якої призначалася програма. Для іншої машини (практично – іншої системи машинних команд) готову програму доводилося переписувати вручну. Програми для перших ЕОМ готувалися у двійкових машинних кодах. Двійкові машинні програми могли розроблятися тільки вузькими фахівцями – програмістами, що знали устрій конкретної ЕОМ і її особливості. Програмування задач машинною мовою обмежувало використання ЕОМ, тому що проєктувальник не міг спілкуватися з машиною без допомоги посередника – програміста. Такий ланцюжок «проєктувальник – програміст – машинна програма – ЕОМ» приводила до значних трудових і часових витрат. В 1951 році Грейс Мюррей Хопер запропонувала писати програми на мові, наближеній до природної, а потім перекладати (транслювати) їх у машинний код за допомогою спеціальної програми-перекладача -транслятора. Окремі підпрограми повинні були автоматично з'єднуватися (компілюватися) у єдину програму. Таким чином, з появою транслятора проблема спілкування проєктувальника з ЕОМ була вирішена. Незважаючи на те, що ланцюжок «проєктувальник – ЕОМ» подовжилася: «користувач – програма мовою високого рівня – транслятор – машинна програма – ЕОМ», але з неї виключена одна людина – програміст. Це істотно (на кілька порядків) прискорює не тільки розробку програм, але і їхнє налагодження, тому що програма-транслятор, на відміну від людини-програміста, не допускає невмотивованих (випадкових) помилок. Орієнтовані на користувача алгоритмічні мови програмування, призначені для запису програм на близькій до природної мові, були створені з метою спрощення й зниження трудомісткості складання програм.

Як мови програмування використовуються машинно-орієнтовані мнемонічні мови типу автокоду й асемблера і алгоритмічні мови високого рівня.

7.3.2. Машинно-орієнтовані мови

Автокод – машинно-орієнтована мова, засоби якої по структурі подібні до машинних команд. Автокод дозволяє програмі безпосередньо управляти апаратними пристроями. Мова АСЕМБЛЕРА по суті є автокодом, розширеним макрокомандами, виразами й засобами, що забезпечують модульність програм.

Разом з тим, коди операцій у ньому замінені умовними словами, мнемонічно (по звучанню) схожими на слова природної мови. У різних версіях АСЕМБЛЕРА, орієнтованих на різні апаратні платформи, набір умовних слів, практично не міняється. У порівнянні з машинною мовою (мікрокодом процесора), це істотно спрощує написання програм, однак для написання ефективних програм необхідні глибокі знання апаратури й особливостей її програмування. Програма написана мовою Асемблера, перед виконанням переводиться на машинний код – умовні слова, а дані, замінюються їх бінарними (двійковими) кодами. Оскільки між апаратурою й мовою Асемблера перебуває низького рівня машинний код, то мова Асемблера є мовою більш високого рівня: чим ближче мова наближена до людської, тим далі вона віддалена від машинної – тим вище рівень мови. Машинно-орієнтована мова (макрокод АСЕМБЛЕР) використовується, як правило, системними програмістами при написанні системних програм, тому що він дозволяє зробити програми більш компактними, скоротити витрати машинного часу й обсяг використовуваної оперативної пам'яті. Його застосування доцільне: при розробці модулів з великою кількістю логічних операцій і операцій над окремими групами даних у машинному поданні; при жорстких вимогах до модуля по показниках витрат машинного часу й пам'яті.

Проектувальникам необхідні мови більш високого рівня, наближені до конкретної області проектування.

Алгоритмічна мова

Алгоритмічна мова – це сукупність набору символів і системи правил утворення й тлумачення конструкцій із цих символів для завдання алгоритмів. Директиви й службові слова алгоритмічних мов високого рівня записуються словами природної мови. Програма мовою високого рівня нагадує план рішення задачі, складений на звичайній розмовній мові, завдяки тому, що символіка й логіка алгоритмічних мов близькі до прийнятих. Разом з тим ця символіка і правила запису строго однозначні й можуть автоматично (формалізовано) перекладатись в команди машини. Мови програмування високого рівня апаратно-незалежні, оскільки проблему перекладу вихідного тексту в конкретний машинний код вирішує спеціальна програма – компілятор або транслятор.

Поява мов високого рівня, дозволила розроблювачам не відволікатись на питання організації виконання процесу, а зосередитися безпосередньо на рішенні конкретної проблеми. Зараз існує біля двох тисяч мов програмування. Значна кількість мов програмування пояснюється розмаїттям задач програмування й способів реалізації програм – різні мови створюються з різною метою.

Алгоритмічні мови високого рівня, на відміну від машинно-орієнтованих мов, більш зручні для реалізації алгоритмів рішення проектних задач, легше освоюються, забезпечують високу надійність одержуваних програм і продуктивність праці при розробці програм та їхню адаптацію до різних типів

ЕОМ. Однак вони менш універсальні, їх можливості в описі нестандартних форматів даних, процедур і операцій значно нижче. Програми, написані на алгоритмічних мовах вимагають для їхнього виконання більше витрат часу й ресурсів системи.

При розробці САПР доцільно спільне використання машинно-орієнтованих і алгоритмічних мов високого рівня, що враховує достоїнства кожної з мов у рішенні конкретних задач. Безсумнівними перевагами, що визначають широке застосування мов високого рівня, є підвищення продуктивності праці програмістів та інваріантність до типів ЕОМ.

Основні алгоритмічні мови

Алгоритмічна мова ФОРТРАН (FORmula TRANslation – перекладач формул) був розроблений в 1956 р. і призначався для рішення на ЕОМ наукових і інженерних задач. Оператори розробленого в 1960 р. мови АЛГОЛ-60, дуже близькі до природної англійської мови й дозволяють писати добре структуровані програми, тому АЛГОЛ мав значний вплив на подальший розвиток мов програмування. Алгоритмічна мова ПЛ/1 (Programming Language/1), розроблений в 1966 р. спочатку був орієнтований на великі моделі ЕОМ. Він надає широкі можливості при обробці великих масивів інформації і описі структур вихідних даних.

В 1965 р. розроблена мова БЕЙСИК, що нагадує ФОРТРАН, але більш проста, орієнтована на користувачів-початківців. Ця перевага має місце при рішенні задач у режимі діалогу з ПЕОМ. Основний недолік АЛГОЛА – громіздкість – усунутий у мові ПАСКАЛЬ (1969). Мова ПАСКАЛЬ і його розвиток – МОДУЛА-2 є претендентами на роль основних мов для написання прикладного програмного забезпечення. Позитивні властивості цих мов – розвинені засоби для написання добре структурованих програм, для подання різних типів і структур даних, вдале сполучення простоти й визначеності в описі мов.

В 1973 році розроблена мова СІ, що являє собою потужну алгоритмічну мову високого рівня, орієнтовану на висококваліфікованих програмістів, що розробляють програмне забезпечення на рівні операційної системи.

7.4. Інформаційне забезпечення САПР

Інформаційне забезпечення являє собою сукупність відомостей для проектувальників, якими вони користуються в процесі рішення проектних задач. Головною метою створення інформаційного забезпечення САПР є розробка інформаційної системи, що забезпечує правильне й швидке рішення проектних задач завдяки своєчасній видачі джерелу запиту повної й достовірної інформації для виконання певної частини проектно-конструкторського процесу.

Інформація – деякі відомості або сукупність яких-небудь даних, що є об'єктом зберігання, передачі й перетворення. Стосовно до САПР під даними розуміють представлену у формалізованому вигляді (у вигляді послідовності символів, букв, цифр, графіків, таблиць, креслень, текстів і т.п.) таку

інформацію: про прототипи проєктованих виробів або процесів; про існуючі матеріали, комплектуючі вироби, устаткування, інструменти, які можуть бути застосовані в об'єкті проєктування; про правила й норми проєктування, що містяться у відповідній нормативно-технічній документації; про правила документування результатів проєктування. Різноманітність проєктних процедур у САПР обумовлює розмаїтість типів і структур даних, що використовуються користувачами й прикладними програмами. У міру розвитку проєкту інформація про нього істотно змінюється, від етапу до етапу збільшується обсяг проєктної документації, через ітеративний характер процесу проєктування постійно обновляються масиви даних, з'являються альтернативні варіанти і т.п.

Проєктування є багатоетапним інформаційним процесом. Суть проєктування в переробці чисельних масивів інформації різного виду, тому інформаційне забезпечення є однією з найважливіших складових частин САПР. Витрати на розробку інформаційного забезпечення САПР, складають більше половини вартості системи в цілому. Переробка інформації має на увазі: запам'ятовування інформації в інформаційних масивах; пошук даних, необхідних для рішення поточного завдання; передача інформації між масивами; моделювання процесів, у результаті якого виходить нова інформація, що описує властивості й поведження об'єкта.

Окремим випадком переробки інформації можна вважати обчислювальні процеси. За статистичними даними, отриманими при експлуатації діючих САПР, 90% машинного часу зайнято переробкою інформації – і лише 10% складають обчислення.

Основним видом подання інформації в машинному поданні є бази даних – інформаційні масиви, що використовуються у більш ніж в одній програмі проєктування. Функції доповнення й корегування бази даних, а також її захисту від неправильних змін виконує окрема частина програмного забезпечення САПР – система керування базою даних (СКБД). База даних разом із СКБД утворюють автоматизований банк даних (АБД). Найраціональнішою є побудова інформаційного забезпечення автоматизованого проєктування на основі інтегрованих баз даних (ІБД), що поєднують бази геометричних і графічних даних по складових частинах об'єкта проєктування (модулі, базові вироби, агрегати, стандартні деталі, типові структурні компоненти), а також інформаційно-пошукової системи.

7.5. Математичне забезпечення

7.5.1. Математичні методи в проєктуванні

Проєктні завдання характеризуються математичною визначеністю: кожна проєктна проблема або ситуація повинна вирішуватися за допомогою набору певних задач, відомих математичних моделей, алгоритмів і обчислювальних програм. Завдяки цьому на кожному з рівнів проєктування інтенсивно застосовуються методи математичного моделювання. При використанні

математичних методів всі характеристики, властивості й стани проєктованих об'єктів визначаються рішенням рівнянь, що називаються математичними моделями. Вид рівнянь, що описують об'єкт проєктування визначається особливостями предметної області проєктування. Предметна область включає якомога більш повний фізичний і математичний опис законів і умов функціонування проєктованого об'єкта, середовища й способів взаємодії об'єкта з нею, складу об'єкта, елементної бази, способів організації структури об'єкта, змінюваних і налагоджуваних параметрів. Предметна область поповнюється й уточнюється в процесі проєктування.

Кожному рівню проєктування відповідають свої математичні моделі різного ступеня деталізації, що визначають взаємозв'язки між вхідними й вихідними параметрами об'єкта, його фрагментів або елементів з урахуванням граничних умов. Дані про одні і ті самі властивості об'єкта багаторазово використовуються для рішення різних задач. При цьому рівень інформації і повнота даних про окремі властивості різні.

Доцільне використання ієрархічної системи математичних моделей проєктування об'єктів, в якій на різних рівнях ієрархії модель, що відповідає проєктованому рівню, реалізується об'єднанням моделей попереднього рівня. У цій системі будь-який об'єкт – конструкція виробу або оснащення, технологічний процес або процес проєктування – моделюється однаковими математичними методами й засобами.

Центральне місце в системі математичних моделей повинна займати універсальна оптимізуюча підсистема, призначенням якої є оптимізація проєктних рішень по заданих функціях якості з урахуванням прийнятих обмежень. Для цього підсистема формує банк методів пошуку екстремумів функцій якості, а також передбачає можливість комплексного застосування методів пошуку в ході оптимізації.

На кожному із цих основних рівнів можливі описи об'єкта з різним ступенем повноти й узагальнення, що відповідають різним рівням абстрагування структурних, логічних і кількісних властивостей і відносин. У всіх математичних моделях відрізняють дані трьох типів: про елементи самого об'єкта моделювання, про властивості об'єкта і залежності між елементами й властивостями об'єкта. При моделюванні об'єкта абстрагування відбувається по двох напрямках: по глибині структурування і по ступені деталізації опису елементів і властивостей об'єкта, а також відносин між ними. По глибині структурування складний об'єкт можна розглядати як:

- > структурований, що являє собою єдине ціле;
- > як систему взаємозалежних елементів одного рівня;
- > як багаторівневу ієрархічну систему.

За ступенем абстрагування об'єкт моделюється на рівнях:

- > структурних (методами теорії множин і теорії графів);
- > логічних (методами математичної логіки);

> кількісних властивостей і відносин (методами функціонального аналізу, теорії диференціальних рівнянь, математичної статистики з безперервною або дискретною зміною аргументів).

7.5.2. Математичне моделювання в САПР

Сучасні методи проектування, орієнтовані на широке використання ЕОМ, передбачають використання математичних методів для аналізу процесів, для реалізації яких необхідно мати математичний опис цих процесів. Цей опис називається математичною моделлю.

Моделювання використовується при проектуванні і створенні різноманітних складних технічних систем. За допомогою моделювання аналізують як роботу окремих елементів об'єкта, так і процес взаємодії цілого об'єкта з іншими системами. Складність сучасних систем вимагає, щоб моделювання було необхідним етапом на одній або декількох стадіях від початку розробки до виготовлення. Типові сфери застосування моделювання при розробці нових систем:

- оціночна перевірка характеристик макета системи (підсистеми);
- оцінка варіантів розробок, вибір оптимального варіанта;
- виявлення недоліків і кінцеве відпрацювання системи;
- взаємодія окремих складових частин; оцінка вартості варіантів

систем, зниження загальної вартості розробок.

Моделюванням називається дослідження об'єкта (явища, процесу або системи) шляхом створення його моделі і використання її з метою одержання корисної інформації про об'єкт.

Модель – це фізичний (матеріальний) або ідеальний об'єкт, аналізом і дослідженням якого пізнають істотні риси іншого досліджуваного об'єкта. Модель може відтворювати не всі властивості досліджуваного об'єкта, а найістотніші. Моделі можна розділити на *фізичні, математичні і інформаційні*.

Математичною моделлю технічного об'єкта називається сукупність математичних об'єктів (чисел, скалярних змінних, векторів, матриць, графів і т.п.) і відношень між ними, які відображають ті властивості модельованого технічного об'єкта, що цікавлять інженера-проектувальника.

Імітаційна математична модель відображає поведінку модельованого об'єкта при заданих зовнішніх впливах, що змінюються в часі.

Функціональна математична модель описує стан об'єкта або процес (послідовність зміни станів об'єкта), відображує взаємозв'язок між параметрами стану об'єкта (фазовими змінними), характеристиками зовнішнього щодо об'єкта проектування середовища, і незалежними змінними (якими можуть бути, наприклад, час або просторові координати) і вихідними параметрами – величинами, що характеризують властивості системи.

Основним показником придатності математичної моделі є відповідність або коректність моделі, що характеризує співпадіння із заданою точністю її

вихідних параметрів, отриманих при тестових впливах, з реальними характеристиками об'єктів.

Статистичний аналіз моделі призначений для отримання відомостей про досліджуваний об'єкт у вигляді гістограм, числових характеристик розподілу вихідних параметрів.

Моделі, призначені для однократного одержання вихідних характеристик при фіксованих значеннях внутрішніх і зовнішніх параметрів називають *моделями одноваріантного аналізу* на відміну від моделей, призначених для багаторазового рішення при різних значеннях внутрішніх і зовнішніх параметрів – *моделей багатоваріантного аналізу*.

На етапі конструювання математичні моделі використовуються для визначення насамперед геометричних характеристик об'єктів проектування: форми деталей і розмірів їхніх відносних частин. Для відображення цих властивостей доцільне застосування *структурних моделей*, що виражаються рівняннями поверхонь і ліній, системами нерівностей, графами, матрицями і т.п.

Інформаційна модель – модель, у якій досліджуваний об'єкт представлений у вигляді процесів одержання, нагромадження, передачі й обробки інформації, а параметри моделі представлені в числовій, текстовій або іншій сигнальній формі.

7.6. Методичне забезпечення САПР

Методичне забезпечення САПР це сукупність документів, що встановлюють склад, правила відбору й експлуатації засобів забезпечення автоматизованого проектування. Причому документи, що належать до процесу створення САПР, не входять до складу методичного забезпечення. Так в основному документи методичного забезпечення носять інструктивний характер, і їх розробка є процесом творчим.

Вимоги до компонентів методичного забезпечення

До компонентів методичного забезпечення належать: затверджена документація інструктивно-методичного характеру, що встановлює технологію автоматизованого проектування; правила експлуатації комплексу засобів автоматизованого проектування, програмно-методичні комплекси; нормативи, стандарти й інші керівні документи, що регламентують процес і об'єкт проектування. Компоненти методичного забезпечення повинні розміщатися на машинних носіях інформації, що дозволяє здійснювати як довгострокове зберігання документів, так і їхній оперативний висновок у форматах, встановлених відповідними стандартами.

7.7. Організаційне забезпечення САПР

Організаційне забезпечення САПР – це сукупність положень, інструкцій, наказів, штатних розкладів, кваліфікаційних вимог і інших документів, що регламентують організаційну структуру підрозділів, зв'язку між ними, їхньої функції, а також форму подання результатів проектування й порядок розгляду

проектних документів. Організаційне забезпечення пропонує комплектування підрозділів САПР професійно досвідченими фахівцями, що мають навички й знання для роботи з перерахованими вище компонентами САПР. Від їхньої роботи буде залежати ефективність і якість роботи всього комплексу САПР.
Вимоги до компонентів організаційного забезпечення.

Компоненти організаційного забезпечення повинні встановлювати організаційну структуру системи й підсистем, включаючи взаємозв'язки її елементів; задачі й функції служби САПР і пов'язаних з нею підрозділів проектної організації; права й відповідальність посадових осіб по забезпеченню створення й функціонування САПР; порядок підготовки й перепідготовки користувачів САПР.

Запитання для самоперевірки

1. Що входить до складу технічного забезпечення САПР?
2. Що становить програмне забезпечення САПР. Структура програмного забезпечення?
3. Перелічіть документи, які входять до складу ПЗ САПР.
4. Яка структура загальносистемного ПЗ?
5. Приведіть приклади операційних систем для ПОМ.
6. Що являє собою ППП?
7. Що характерно для ППП простої структури?
8. Інформаційне забезпечення САПР. Завдання інформаційного забезпечення. Що таке банки даних, їхній зміст?
9. Опишіть функції й структурні схеми СУБД.
10. Склад лінгвістичного забезпечення САПР. Що таке мови програмування й вимоги до них?
11. Назвіть основні функції математичного забезпечення САПР.
12. Назвіть основні функції методичного забезпечення САПР.
13. Назвіть основні функції організаційного забезпечення САПР.

Рекомендована література:

1. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.
2. *Малюх В. Н.* Введение в современные САПР: Курс лекций. – М.: ДМК Пресс, 2010 – 192 с.
3. *А.В. Петров.* Проблемы и принципы создания САПР. – М.: Высшая школа, 1990. – 350 с.

Використана література

1. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.
2. *Норенков И. П.* Автоматизированное проектирование: Учебник. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 188 с.
3. Автоматизация производства: Учеб. для сред. проф. учеб. заведений/*В.Н. Брюханов, А.Г. Схиртладзе, В.П. Вороненко;* Под. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш.шк., 2005. – 367с.
4. *Аветисян Д.А.* Основы автоматизированного проектирования электромеханических преобразователей. – М.: Высшая школа, 2007. – 271с.
5. *Малюх В. Н.* Введение в современные САПР: Курс лекций. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.
6. *Гудима Ю.В.* Системы автоматизованого проектування технологічних процесів: Конспект лекцій для студентів заочної форми навчання. – Чернівці: Рута, 2003. – 44 с.
7. *А.В. Петров.* Проблемы и принципы создания САПР. – М.: Высшая школа, 1990. – 350 с.

Навчально-методичне видання

Юрій Федорович Дубравін

АВТОМАТИЗОВАНІ РОЗРАХУНКИ ТА САПР

Методичні рекомендації щодо самостійного опрацювання матеріалу
для студентів спеціальності 7.092202 «Електричний транспорт»
усіх форм навчання

Відповідальний за випуск Ю. Ф. Дубравін
Редактор Н.В.Щербак
Макет і верстка В.О. Андрієнка

Підписано до друку 31. 05. 2011р.
Формат – 60×84/16 Папір – офсетний.
Друк – на ризографі.
Зам. № 69-2/11
Наклад 50.

Надруковано у РВЦ ДЕГУТ,
03049, м. Київ – 49, вул. Миколи Лукашевича, 19
Свідоцтво про реєстрацію Серія ДК № 3069 від 27. 12. 2007р.