

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

О.І. Воронков, А.А. Єфремов

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ
ТА ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ДВЗ (САПР ДВЗ)**

Частина 1. Теоретичні основи САПР

Конспект лекцій

Затверджено методичною
радою університету,
протокол № 4 від 28.02.2007 р.

Харків
ХНАДУ
2007

УДК 621.436
В 75

Рецензент:

Воронков О.І., Єфремов А.А.

Сучасні технології проектування та дослідження ДВЗ (САПР ДВЗ). Частина 1. Теоретичні основи САПР: Конспект лекцій. – Харків: ХНАДУ, 2007. – с.

Розглянуто теоретичні основи проектування і САПР, їх засоби, питання автоматизації конструкторського і технологічного проектування, нові технології та засоби проектування, а також їх інтеграцію.

Іл. 30; бібліогр. 14 найм.

УДК 621.436
В 75

© О.І. Воронков,
А.А. Єфремов, 2007

© Харківський національний
автомобільно-дорожній
університет, 2007

ВСТУП

Сучасні задачі, що виникають перед наукою і технікою, викликають необхідність проектування все більш складних технічних об'єктів у стислі терміни. Задовольнити суперечливі вимоги підвищення складності об'єктів, скорочення термінів та підвищення якості проектування за допомогою простого збільшення чисельності проєктувальників не можна, оскільки можливість паралельного проведення проєктних робіт є обмеженою, і чисельність інженерно-технічних працівників у проєктних організаціях не може бути помітно збільшена. Виходом з цього положення є широке застосування обчислювальної техніки для розв'язання проєктних задач (автоматизація проєктування).

Науково-технічна революція, спричинила автоматизацію проєктування і яка стала характерною рисою її нового етапу. Розвиток автоматизації проєктування розпочався в середині минулого сторіччя з епізодичного використання ЕОМ, і вже до кінця ХХ ст., вона перетворилася на організаційно-технічну систему, яка одержала назву «Система автоматизованого проєктування» (САПР).

З розвитком САПР у машинобудуванні пов'язують рішення його найголовнішої задачі – кардинального скорочення термінів створення нової техніки, у тому числі і ДВЗ, – що втілює прогресивну технологію, значно підвищує продуктивність праці і є має більш високу надійністю і більш низьку матеріаломісткість та енергоємність порівняно з існуючими машинами.

Автоматизація проєктування – такий же невідворотний процес, як і автоматизація виробництва. І в тому, іншому випадку мета одна – підвищення продуктивності праці та якості продукції. Проте, якщо у виробництві автоматизація міцно завоювала свої позиції і не викликає ні у кого сумнівів, то у проєктуванні її позиції ще не такі міцні і без-

перечні. В чому ж причина? Незважаючи на те, що проектування є складовою процесу створення нової техніки і у зв'язку із цим належать до виробничої діяльності людини, в ньому істотні творчі начала, що додає йому рис мистецтва, а автоматизм і творчість – поняття суперечливі. Доведена до автоматизму праця перестає бути творчою. Але, як і будь-які інші суперечливі поняття, автоматизація і творчість існують у діалектичній єдності. Їх об'єднує майстерність. Творчий працівник-художником, музикант або конструктором – вважається майстром, якщо досконало опанував техніку володіння своєю професією, технікою, доведеною до автоматизму. Не в заміні людини машиною вбачається задача САПР, а в удосконаленні техніки проектування (звичайно, під технікою проектування слід розуміти не тільки креслярські інструменти і письмове приладдя, оскільки це і засоби виконання тих або інших операцій і процедур). Досвідчений конструктор володіє прийомами і методами пошуку варіантів технічних рішень, їх порівняння і вибору якнайкращого, аналізу технічних систем, синтезу, визначення оптимальних параметрів тощо.

Широке впровадження комп'ютеризації в умовах науково-технічного прогресу забезпечує зростання продуктивності праці у різних галузях суспільного виробництва. Головна увага при цьому звертається на ті сфери, де зростання продуктивності праці до вживання ЕОМ проходило у край повільно. Це, у першу чергу, галузі, пов'язані з розумовою працею людини: управління виробництвом, проектування і дослідження об'єктів і процесів. Якщо продуктивність праці у сфері виробництва з початку століття зросла в сотні раз, то у сфері проектування тільки у 1,5-2 рази. Це обумовлює великі терміни проектування нових об'єктів, що не відповідає потребам розвитку економіки.

Очевидність того факту, що розвиток нової техніки у сучасних умовах сповільнюється не стільки відсутністю наукових досягнень й інженерних ідей, скільки термінами і не завжди задовільною якістю їх реалізації під час конструкторсько-технологічної розробки, ні у кого не викликає сумніву. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є створення і розвиток систем автоматизованого проектування.

САПР вже сьогодні може допомогти конструктору у виконанні багатьох процедур і операцій. Це, перш за все, стосується проектува-

льних і перевірочних розрахунків, пошуку необхідної інформації, проведення кінематичного і динамічного аналізу об'єкта проектування(ДВЗ), оптимізації його параметрів, математичного і геометричного моделювання. Робляться і спроби створення елементів САПР для пошукового конструювання, включаючи синтез варіантів технічних рішень і вибір із них оптимального. Широко застосовується автоматизований розрахунок і конструювання деталей машин, деяких вузлів та інших простих виробів.

Проте, незважаючи на помітні успіхи САПР, що охоплювала усі стадії розробки від технічного завдання до робочої документації, поки немає в жодній галузі техніки. Це пояснюється тим, що дотепер не вдалося дати формальний опис процесу проектування, який би дозволив використовувати засоби САПР на всіх стадіях розробки проектної документації.

Таким чином, мета автоматизації проектування – забезпечення бездефектного проектування, зниження матеріальних витрат і скорочення термінів проектування.

Знання математичного апарата, вживаного в інженерних дослідженнях, уміння користуватися математичними моделями за оптимального проектування реальних об'єктів і систем, знання програмних і технічних засобів САПР й уміння користуватися ними як інструментом проектувальника дозволяє сучасним інженерам ставити і вирішувати задачі автоматизації проектування у всіх галузях техніки.

Автори виражають подяку інженеру кафедри ДВЗ Єкимовій С.В. за допомогу в підготовці матеріалів.

Лекція 1

ПРОЕКТУВАННЯ. ФУНКЦІЇ І ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ

- 1.1. Загальні відомості щодо проектування.
- 1.2. Технологічний процес проектування.
- 1.3. Методи пошуку технічних рішень.

1.1. Загальні відомості щодо проектування

При створенні нових об'єктів техніки за заданим описом неіснуючого об'єкта виконується його матеріалізація у працездатну надійну конструкцію. Якість проектування значною мірою визначає темпи технічного прогресу.

Прогрес виробництва в сучасних умовах пов'язують з досягненнями у сфері автоматизації виробництва. Оскільки проектування і розробка технології є частиною виробництва (логічним рівнем), то прогрес на цьому етапі також повинен визначатися автоматизацією.

Згідно з ГОСТ 22487-77 *проектуванням називається процес складання опису, необхідного для створення у заданих умовах ще не існуючого об'єкта на основах алгоритмів його функціонування з оптимізацією заданих характеристик об'єкта.*

Процес створення (опису) нового об'єкта (ДВЗ) може виконуватися з різним ступенем автоматизації, серед яких виділяють три основні.

1. Якщо весь процес проектування здійснює людина, то проектування називають *неавтоматизованим*. При неавтоматизованому проектуванні результати багато в чому визначаються інженерною підготовкою конструкторів, їх виробничим досвідом, професійною інтуїцією й іншими чинниками. Сьогодні неавтоматизоване проектування майже не застосовується.

2. Проектування, за якого відбувається взаємодія людини й ЕОМ, називають *автоматизованим*. Автоматизоване проектування, як пра-

вило, здійснюється в режимі діалогу людини з ЕОМ на основі вживання спеціальних мов спілкування з ЕОМ. Автоматизоване проектування дозволяє значно скоротити суб'єктивізм під час ухвалення рішень, підвищити точність розрахунків, вибрати якнайкращі варіанти для реалізації на основі строгого математичного аналізу всіх або більшості варіантів проекту з оцінкою технічних, технологічних та економічних характеристик виробництва й експлуатації проектованого об'єкта, значно підвищити якість конструкторської документації, істотно скоротити терміни проектування і передачі конструкторської документації у виробництво, ефективно використовувати технологічне устаткування з програмним управлінням. Автоматизація проектування сприяє більш повному використанню уніфікованих виробів як стандартних компонентів проектованого об'єкта.

3. Проектування, за якого всі перетворення описів об'єкта й алгоритму його функціонування здійснюються без участі людини, називають *автоматичним*.

Життєвий цикл будь-якого об'єкта (ДВЗ) починається з планування, наступним є етап досліджень (дослідження функції, яку об'єкт повинен виконувати, його параметри і характеристики), проектування, виробництва й експлуатації.

Під *об'єктом планування* розуміють технологічний процес, складний конструктивний механізм (автомобіль, ДВЗ), елементарну деталь складного механізму (палець, клапан), будь-який пристрій, що має певне функціональне призначення, а також елементи цього пристрою, тобто об'єкт – це все те, до чого застосовується процес проектування.

У проектуванні розрізняють такі об'єкти:

- матеріали (сталь, чавун, алюмінієвий сплав);
- предмети (паливний насос, поршень, колінчастий вал);
- процеси (процес наповнення циліндрів, процес паливоподачі);
- системи (механічні, електричні, організаційні).

Під створенням об'єкта розуміють:

- виготовлення і надання заданих властивостей (якщо об'єкт – матеріал або предмет);
- виконання із заданим алгоритмом (якщо об'єкт – процес);
- розміщення в часі або просторі (якщо об'єкт – система).

Описати об'єкт проектування – це значить визначити його призначення, сферу вживання, встановити зв'язки об'єкта з різними підсистемами або з навколишнім середовищем, а також визначити рівень його надійності і точності.

Проектним рішенням називається проміжний або остаточний опис об'єкта проектування, необхідний для розгляду і визначення подальшого напрямку або закінчення проектування.

Проектне рішення або їх сукупність, що задовольняють заданим вимогам, необхідні для створення об'єкта проектування, будуть результатом проектування. До заданих вимог повинні бути обов'язково включені вимоги до форми проектної рішення, що представляється.

Документ, виконаний за заданою формою, в якому представлено яке-небудь проектне рішення, одержане при проектуванні, називається *проектним*.

Сукупність проектних документів відповідно до встановленого переліку, в якому представлено результат проектування, називається проектом.

Під *проектною процедурою* розуміють формалізовану сукупність дій, виконання яких закінчується проектним рішенням. Наприклад, проектними процедурами є оптимізація робочого процесу ДВЗ, контроль, пошук рішення, коректування, компонування вузлів тощо.

Дія або формалізована сукупність дій, які є частиною проектної процедури, алгоритм яких залишається незмінним для ряду проектних процедур, називається *проектною операцією*. Прикладами проектних операцій є складання таблиць з даними обчислення (розрахунок індикаторної діаграми), викреслювання стандартних деталей, введення і виведення даних для розрахунку робочого процесу тощо. Відповідно проектна процедура, алгоритм якої залишається незмінним для різних об'єктів проектування або різних стадій проектування одного і того ж об'єкта, називається *уніфікованою проектною процедурою*.

1.2. Технологічний процес проектування

Виконання проектних робіт можна розподілити як за часом, так і за підрозділами проектної організації.

За тимчасового розподілу робіт зі створення нових об'єктів процес проектування поділяється на стадії та етапи.

Стадії процесу проектування.

1. **Передпроектне дослідження.** Показники, що характеризують продукцію, повинні бути такими, щоб до моменту її випуску вони були на рівні кращих вітчизняних і світових досягнень або перевершувати їх, забезпечували конкурентоспроможність на зовнішньому ринку, економічну ефективність і задоволення потреб народного господарства й експорту. Для того щоб забезпечувати такі показники, необхідне: виконання науково-дослідних й експериментальних робіт, наукового прогнозування, аналізу передових досягнень і технічного рівня вітчизняного і зарубіжного двигунобудування; вивчення патентної документації, а на продукцію, призначену для експорту, і вимог зовнішнього ринку. На цьому етапі вивчаються літературні джерела, за якими визначають функціональне призначення даного об'єкта, уточнюють сфері вживання, визначають зв'язки з іншими об'єктами, тобто здійснюється повний інформаційний опис об'єкта проектування, який є основою для наступної стадії.

2. **Розробка, узгодження і затвердження технічного завдання (ТЗ).** Технічне завдання згідно з ГОСТ 15.001-73* встановлює: основне призначення, технічні і тактико-технічні характеристики, показники якості і техніко-економічні вимоги, що висуваються до розроблюваного виробу виконання необхідних стадій розробки конструкторської документації та її склад, а також спеціальні вимоги до виробу. Технічне завдання складає розробник на основі заявки замовника. Заявка вже повинна містити обґрунтування техніко-економічних вимог до продукції. Якщо під продукцією розуміти машину, то техніко-економічні вимоги повинні бути комплексними і стосуватися до всієї системи, до якої вона входить. Обґрунтування вимог у такій постановці приводить до необхідності системних досліджень. Виконати це замовнику, який не має у своєму розпорядженні наукових кадрів, важко. Тому належне обґрунтування вимог покладається на розробника. Як правило, найбільш успішно це завдання вирішується, якщо як розробник виступає науково-виробниче об'єднання.

Технічне завдання повинне містити лише найістотніші вимоги і

показники якості, воно не має обмежувати ініціативу розробника при пошуку і виборі оптимального рішення поставленої задачі. На стадії технічного завдання виконуються процедури визначення потреби проектування, вибору цілей і визначення ознак об'єкта проектування.

3. Розробка технічної пропозиції. Технічна пропозиція – це сукупність конструкторських документів, які розроблені на основі технічного завдання і містять вибір варіантів можливих рішень і пошуку серед них оптимального.

Пошук варіантів технічних рішень виконує інженер-конструктор. Проте вже на цій стадії доцільно залучати до роботи над проектом інженерів-технологів і художників-конструкторів.

Технологи, беручи участь разом з конструкторами у виборі варіантів, дбають про кращі передумови для використання раціонального розчленовування й компонування майбутньої конструкції, кращі передумови для використання стандартних й уніфікованих вузлів, типових технологічних процесів, обмеження номенклатури конструкційних матеріалів. Художник-конструктор формує вимоги технічної естетики й ергономіки, розробляє варіанти художньо-конструкторського рішення.

У технічній пропозиції відображаються результати досліджень щодо перевірки патентної чистоти вибраного варіанта технічного рішення, як в Україні, так і в країнах, передбачених для експорту. До обов'язкових документів технічної пропозиції входять записка пояснення і відомість технічної пропозиції. Залежно від характеру, призначення або умов виробництва об'єкта можуть виконуватися додатково креслення загального вигляду або габаритне креслення, схеми, таблиці, розрахунки, патентний формуляр.

Виходячи зі змісту технічної пропозиції на етапі його розробки, виділено три основні процедури: пошук варіантів технічних рішень, вибір оптимального варіанта й аналіз ухваленого рішення, тобто розробляється алгоритм функціонування об'єкта.

4. Ескізний проект. Ескізний проект є сукупністю конструкторських документів, які відображають принципові конструктивні рішення, що дають загальне уявлення про пристрій та принцип роботи виробу, а також його основні параметри і габаритні розміри.

Важливо зазначити, що технічні рішення, представлені на етапі розробки технічних пропозицій у вигляді принципових схем, тепер повинні одержати конструктивне рішення. Проте останнє пов'язане лише із загальним компоуванням. Виходячи з основного змісту ескізного проекту, на етапі його виконання передбачаються дві процедури: вибір оптимальних параметрів і компоування, тобто розробляється алгоритм функціонування об'єкта.

Компоування об'єкта проектування виконується з урахуванням технологічності й естетичності. Технологічність враховується: під час вибору принципової конструктивної схеми, виявлення складових частин, які можуть бути стандартними, уніфікованими або запозиченими, виявлення умов складання виробів і складових частин, технічного обслуговування виробів, підготовки виробництва і визначення основних укрупнених даних для технологічної підготовки виробництва, виявленні номенклатури використовуваних конструкційних матеріалів. Окремо слід зупинитися на ролі художнього опрацювання на етапі ескізного проекту. Для об'єктів нової техніки, що не мають аналогів, це, мабуть, поки єдиний найуспішніший метод загального компоування.

На стадії ескізного проекту продовжуються роботи щодо виявлення патентоспроможних рішень, які можуть з'явитися в ході компоування об'єкта; оформляються заявки на винаходи як по пристрою, так і по промисловому зразку; виявляються країни або фірми-споживачі об'єкта, розробляються пропозиції про патентування винаходів за кордоном. Конкретизується розроблений алгоритм у математичну модель об'єкта, за допомогою якої визначаються його параметри, що враховує обмеження, записані в ТЗ, при цьому за допомогою параметричної оптимізації визначається рівень об'єкта з урахуванням його функціонального призначення (за ТЗ).

До обов'язкових документів на стадії ескізного проекту входять: пояснювальна записка і відомість ескізного проекту. Додатково можуть складатися: креслення загального вигляду, габаритне креслення, теоретичне креслення, відомість купувальних виробів, відомість узгодження вживання купованих виробів, програма і методика випробувань, розрахунки, таблиці, патентний формуляр.

5. Технічний проект. Технічний проект містить сукупність конструкторської документації, що відображає остаточні технічні рішення, які дають повне уявлення про будову виробу, що розробляється, і початкові дані для розробки робочої документації.

Процедури на стадії технічного проекту на процедурній моделі об'єднані загальною назвою – конструювання машини. В цю назву вкладено певне значення. До розробки технічного проекту об'єкт одержував описи, що дають можливість лише приступити до наступного етапу проектування. Описи на стадії технічного проекту повинні дати можливість приступити до реалізації технічних рішень, а для цього вони повинні бути конструктивними. Власне зі стадії технічного проекту і починається конструювання.

Обов'язковими документами технічного проекту є: креслення загального вигляду, пояснювальна записка, відомість технічного проекту. Залежно від характеру, призначення або умов виготовлення виробу складаються: теоретичне і габаритне креслення, розрахунки, таблиці, схеми, відомість купованих виробів, технічні умови (ТУ), відомість узгодження вживання купованих виробів, програма і методика випробувань, патентний формуляр, карта технічного рівня і якості продукції.

Інженер-технолог, беручи участь у розробці технічного проекту, відпрацьовує конструкцію і технологічність, прагнути до найкращих значень її показників. Дизайнер-конструктор проводить остаточне компонування машини, опрацьовує конструкцію робочих місць, засобів забезпечення умов населеності. Патентними дослідженнями обґрунтовується можливість використання технічних рішень, захищених авторськими свідоцтвами і патентами, перевіряються на патентоспроможність знову створювані конструкції, оформляються заявки на винаходи.

Закінчується етап видачею докладного технічного опису (ТО) на об'єкт проектування.

6. Робочий проект. На даному етапі готується вся робоча документація на об'єкт проектування, виготовляються дослідні зразки і проводяться попередні випробування і доведення об'єкту.

7. Випробування і налагодження. ТО і ТУ є основою для випробування.

8. *Експлуатація.*

При створенні нових об'єктів виділяють такі етапи проектування:

– *етап науково-дослідних робіт (НДР).* Об'єднує такі стадії: передпроектне дослідження, технічне завдання і частина технічної пропозиції. Тут проводять дослідження з пошуку нових принципів функціонування, нових структур, фізичних процесів, нової елементарної бази, технічних засобів тощо;

– *етап дослідно-конструкторських робіт (ДКР).* Об'єднує такі стадії: частина технічної пропозиції, ескізний проект, технічний проект. Тут відображаються питання детального конструкторського опрацювання проекту;

– *етап робочого проектування.* Об'єднує такі стадії: робочий проект, виготовлення, налагодження і випробування, введення в експлуатацію. Тут опрацьовуються схемні, конструкторські і технологічні рішення, проводяться випробування, виготовлення.

Розподіл робіт між підрозділами проводять з використанням блоково-ієрархічного (східчастого) підходу (БІП) до проектування. Цей підхід базується на структуризації описів об'єкта з розподілом описів на кілька ієрархічних рівнів за ступенем детального відображення в них властивостей об'єкта і його частин. Кожному ієрархічному рівню притаманні свої форми документації, математичний апарат для побудови моделей і алгоритм дослідження. Сукупність мов, моделей, постановок задач, методів отримання описів певного ієрархічного рівня називають рівнем проектування.

Рівні проектування можна виділяти не тільки за ступенем детальності відображення властивостей об'єкта, але і за характером відображуваних властивостей. Якщо в першому випадку рівні називають горизонтальними, або ієрархічними, то в другому – вертикальними, або аспектами.

Методологія БІП базується на трьох концепціях: розбиття і локальна оптимізація; абстрагування; повторюваність.

Концепція розбиття дозволяє складну задачу проектування об'єкта звести до вирішення більш простих завдань з урахуванням взаємодій між ними. Локальна оптимізація має на увазі поліпшення параметрів усередині кожного простого завдання. Абстрагованість полягає в побудові формальних математичних моделей, що відобража-

ють тільки значущі в даних умовах властивості об'єктів. Повторюваність полягає у використанні існуючого досвіду проектування.

Основна перевага БП – це спрощення процесу проектування й отримання можливості вирішувати завдання проектування доступними засобами.

Використання БП допомагає: спростити проблеми зберігання даних, скоротити розмірність виконуваних програм і час проектування, застосовувати САПР один раз для об'єкта (його частини) незалежно від кількості ідентичних об'єктів (його частин).

У загальному випадку при проектуванні технічних об'єктів можна виділити декілька вертикальних рівнів (аспектів), основними з яких є – функціональний, конструкторський, технологічний. Опис кожного вертикального рівня у свою чергу поділяють на ієрархічні рівні. Нижче наведено приклад структуризації опису проектування мобільних машин (рис. 1.1).

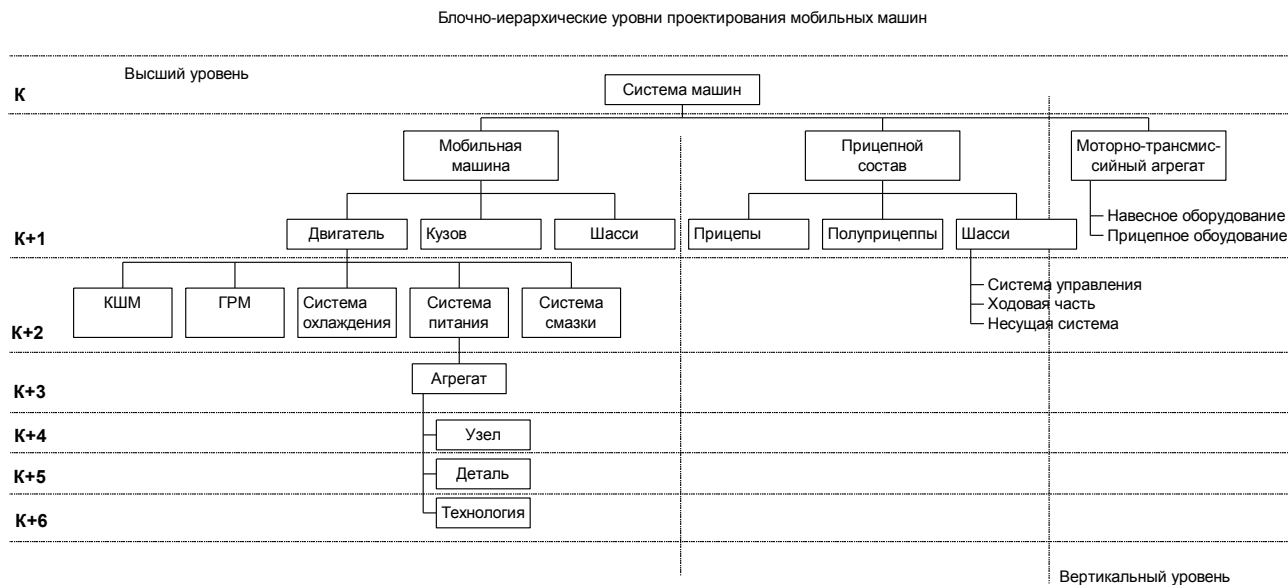


Рис. 1.1. БП мобільних машин

Функціональний аспект – відображає фізичні або інформаційні процеси, що протікають в об'єкті, і його функціонування.

Конструкторський аспект – характеризує структуру, розташування у просторі і форму частин об'єкта.

Технологічний аспект – характеризує технологічність, можливості і способи виготовлення об'єкта в заданих умовах.

Функціональним називається проектування, пов'язане з рішенням групи задач, що відносяться до функціонального аспекту. Аналогічно виділяють конструкторське і технологічне проектування.

У деяких випадках доцільно поділяти опис на більшу кількість аспектів. Уявлення про складні об'єкти усередині кожного аспекту необхідно розділяти на ієрархічні рівні (рівні абстрагування). На верхньому ієрархічному рівні розглядається весь складний об'єкт як сукупність підсистем, що взаємодіють. На наступному рівні підсистеми розглядаються як окремі системи, які складаються з основних частин. Процес декомпозиції описів і поблочного їх розгляду можна продовжити до опису блоків, що складаються з окремих елементів.

Декомпозиція – розділення опису складного об'єкта на частини і роздільне дослідження властивостей об'єкта за виділеними частинами.

Відповідно можливим є розділення проектування, як процесу, на групи проектних процедур. Ці групи процедур називаються ієрархічними рівнями проектування.

Недоліки блоково-ієрархічного підходу впливають з тієї обставини, що на K -му рівні елементи системи ще не визначені, оскільки більш детально вони визначаються на $(K + 1)$ -му рівні.

Результат – спадне (згори → вниз) і висхідне (знизу → вгору) проектування. Функціональне проектування складних систем частіше за все є спадним, конструкторське – висхідним.

1.3. Методи пошуку технічних рішень

Детальні математичні дослідження проектованого об'єкта, у тому числі дослідження на основі оптимізаційних методів, у більшості випадків починаються після синтезу, оцінювання та відбору структурної схеми, тобто певного способу реалізації ТЗ.

Розглянемо формалізовані методи пошуку технічних рішень, які підвищують якість шляхом збільшення кількості різних варіантів, що дає можливість вибору найефективнішого.

До формалізованих методів належать такі.

1. *Асоціативні методи* – основані на вживанні у творчому процесі понять шляхом використання аналогій і метафор.

Основними джерелами слугують:

- *асоціація* – зв'язок, що виникає між двома і більше психічними утвореннями (відчуттями, руховими актами тощо);
- *метафора* – перенесення властивостей одного предмета (явища) на іншій;
- *метод фокальних об'єктів* – перенесення ознак випадково вибраних об'єктів на удосконалюваний об'єкт;
- *метод гірлянд випадковостей* та асоціацій – знаходження великої кількості підказок шляхом утворення гірлянд асоціацій.

2. *Метод контрольних запитань* – за допомогою навідних запитань підвести проектувальника до рішення задачі.

Наприклад:

- як збільшити наповнення циліндрів двигуна свіжим зарядом?
- які системи необхідно удосконалити для цього?
- які елементи найбільше впливають на наповнення? тощо.

3. *Метод мозкового штурму* – один із найпопулярніших методів активізації колективної творчої діяльності.

Алгоритм застосування методу.

- 1) Відбір групи осіб для генерації ідей і групи експертів.
- 2) Організація процесу генерації ідей.
- 3) Фіксація висунутих ідей.
- 4) Оцінка зафіксованих ідей за допомогою експертів і вибір найраціональнішої.

Основні правила методу.

1) Задачу вирішують дві групи людей: 4-15 чоловік. Перша група тільки висуває ідеї (20-40 хв.). Друга група виносить думку про цінність висунутих ідей.

2) Основна задача першої групи – видати якомога більше ідей, висловлювати їх без доказів.

- 3) Утримуються від критики ідей.
- 4) Процесом управляє керівник.

5) Якщо задачу не вирішено, то змінюють склад першої групи.

4. *Метод синектики* є розвитком й удосконаленням методу мозкового штурму. Відрізняється використанням прийомів психологічної

настройки, у тому числі активним вживанням аналогій (прямих, особистих, символічних, фантастичних).

5. *Метод морфологічного аналізу* полягає в систематичному використанні всіх мислимих варіантів, що впливають із закономірності будови (тобто морфології удосконалюваної системи). За кожною виділеною морфологічною ознакою складають список його різних конкретних варіантів, альтернатив.

6. *Метод аналізу взаємопов'язаних областей рішення* основна відмінність від методу морфологічного аналізу – включає тільки практично здійсненні рішення. Мета – виявити й оцінити всі сумісні комбінації часткових рішень проектної проблеми.

7. *Метод функціонально-вартісного аналізу* є методикою раціоналізації, тобто зниження їх вартості без зміни основних принципів.

8. *Метод рішення винахідників задач* полягає у виявленні технічної суперечності або його причини – фізичної суперечності – й усунення їх при переборі відносно невеликої кількості варіантів.

Контрольні запитання

1. Що називається процесом проектування?
2. Назвіть основні функції і задачі проектування?
3. Назвіть основні стадії проектування і їх короткі характеристики.
4. Які основні етапи проектування при створенні нових технічних об'єктів?
5. Назвіть основні задачі проектування. В чому їх основні відмінності?
6. Назвіть методи пошуку технічних рішень, їх основні цілі.

Лекція 2

СТРУКТУРНА СХЕМА САПР ДВЗ.

ІІ СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ І ПІДСИСТЕМИ

- 2.1. Основні відомості про автоматизоване проектування**
- 2.2. Структура САПР ДВЗ.**
- 2.3. Основні принципи створення САПР ДВЗ.**
- 2.4. Види САПР.**
- 2.5. Особливості технології автоматизованого проектування.**
- 2.6. Загальний алгоритм проектування електромеханічних пристроїв (ЕМП) в умовах САПР.**

2.1. Основні відомості про автоматизоване проектування

Вживання ЕОМ при проектуванні ДВЗ з часом зазнає значних змін. З появою обчислювальної техніки було зроблено перехід від традиційних «ручних» методів проектування до реалізації окремих задач проектування на ЕОМ. Цей підхід, що характеризував використання ЕОМ на першому етапі, має назву «позадачного» і полягає в тому, що кожна задача, що знов виникає розв'язується за допомогою автономно створюваної програми, яка функціонує незалежно від інших програм даної предметної області. Суттєвий недолік такого підходу полягає в тому, що подібні програми будуються за принципом «натурального господарства», коли для рішення окремої задачі потрібна повна підготовка допоміжних засобів (технічних, інформаційних, програмних тощо.). Оскільки проектування ДВЗ і його агрегатів, як правило, передбачає і їх оптимізацію, то машинна програма в цьому випадку являє собою «симбіоз» моделі проектованого об'єкта і певного алгоритму оптимізації. Природно, що в цьому випадку ні модель, ні алгоритм оптимізації не можуть використовуватися для інших цілей (наприклад, щоб провести оптимізацію моделі форсунки за допомогою іншого алгоритму, необхідно розробити нову програму).

Проте вживання ЕОМ на цьому етапі, незважаючи на зазначений недолік, дозволило перейти від спрощених методів розрахунку і проек-

тування із суб'єктивним вибором «кращого» варіанта до науково обґрунтованих методів, що забезпечують розгляд всього різноманіття технічно прийнятних варіантів з урахуванням заданих умов та обмежень і об'єктивний вибір серед них оптимального.

У міру вдосконалення ЕОМ акцент у використанні обчислювальної техніки поступово зміщувався від факту вживання ЕОМ як електронного арифмометра у бік більш ефективного і продуктивного використання ЕОМ в системах з режимом «ЕОМ – людина».

З появою обчислювальної техніки нових поколінь і вдосконаленням методів її використання намітився новий системний підхід до організації процесу проектування на ЕОМ, який полягає у створенні крупних програмних комплексів у вигляді пакетів програм (ПП) і САПР, орієнтованих на певний клас задач. Такі комплекси будуються за модульним принципом з універсальними інформаційними й керувальними зв'язками між модулями; під час рішення задач даного класу використовуються єдині інформаційні масиви, організовані в банки даних.

Об'єднання декількох ПП в єдину систему, призначену для реалізації цілком визначених функцій, дозволяє говорити про новий, більш високий рівень в ієрархії програмних комплексів, тобто САПР. При цьому якісних змін зазнають й організація інформаційного, технічного і інших видів забезпечення і, що особливо важливе, умови обміну інформацією між людиною та ЕОМ. Як правило, ці зміни направлені на підвищення гнучкості й універсальності системи, поліпшення характеристик взаємодії проектувальника з ЕОМ, підвищення якості одержуваного результату і зниження часу його отримання. Власне САПР можуть як підсистема входити у системи більш високого рівня, наприклад АСУП (автоматизованих систем управління виробництвом) (рис. 2.1).

Дамо формальне визначення САПР з її головними особливостями: **САПР** – людино-машинна система, що використовує сучасні математичні методи, засоби електронно-обчислювальної техніки і зв'язки, а також нові організаційні принципи проектування для знаходження і практичної реалізації найефективнішого проектного рішення існуючого об'єкта.

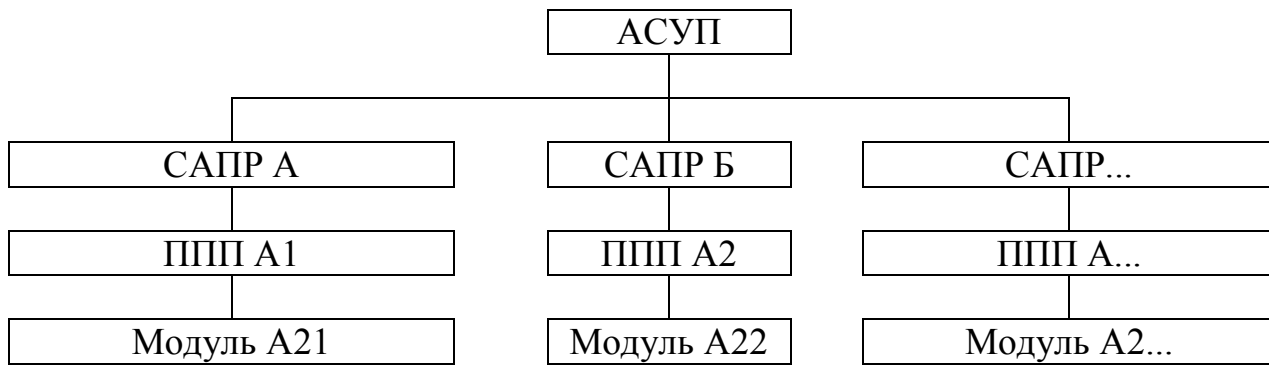


Рис. 2.1. Зв'язок САПР із системами більш низького і більш високого рівнів

Процес проектування на базі САПР можна розділити на такі укрупнені етапи.

1. Пошук принципів проектних рішень.
2. Розробка ескізного варіанта конструкції і його оптимізація.
3. Уточнення і доробка вибраного варіанта конструкції, виконання повного детального розрахунку.
4. Розробка повного комплекту креслень.

Особливості цих етапів визначають ефективність вживання ЕОМ на кожному з них. На першому етапі значною є роль евристичних дій. Повна автоматизація цього етапу можлива лише в деяких спеціальних випадках. Вживання ЕОМ тут найбільш доцільне й ефективне у випадку організації діалогу між конструктором та ЕОМ, де конструктору відводяться функції вибору й ухвалення рішень, а ЕОМ – виконання дій за заданими алгоритмами, перш за все представлення необхідної інформації та її обробка відповідно до завдання. На другому етапі, де розглядаються різні конструктивні рішення з виконанням великої кількості операцій розрахунку й оптимізації, доцільним є використання ЕОМ шляхом створення систем діалогу із запрограмованим процесом конструювання і розрахункової оптимізації, при цьому сам конструктор спрямовує пошук оптимального варіанта конструкції та ухвалює рішення на підставі виконаних розрахунків. Оскільки третій і четвертий етапи потребують найзначніших витрат часу і засобів (до 60 %), причому розрахунково-конструкторська діяльність на цих етапах достатньо просто алгоритмізується, доцільним є вживання на цих етапах ЕОМ у комплексі із засобами введення-виведення графічної інформації.

Як правило, САПР призначені для проектування складних об'єктів (як такий об'єкт, зокрема, можна розглядати ДВЗ).

Складним об'єктом проектування вважається виріб або споруда, яка характеризується такими ознаками:

- складається з великої кількості елементів (деталей конструкції і комплектуючих виробів);
- відрізняється суперечністю вимог, що висуваються до його якостей;
- відрізняється неопрацьованістю формалізованих залежностей показників його якостей від ухвалюваних рішень або відсутністю однозначних критеріїв оцінки цих рішень;
- має сукупність властивостей, визначуваних не тільки властивостями елементів, але і характером взаємодії між елементами;
- відрізняється новизною технічних рішень;
- призначається для експлуатації у складі багатокomпонентної системи або у змінних (не цілком визначеним чином) умовах;
- виготовляється із залученням великої кількості підприємств або з використанням індивідуальної технології.

Дуже високі вимоги висуваються і до конкретного проектувальника або групи проектувальників складного технічного об'єкта. Сьогодні тривалість проектування більшості складних об'єктів перевищує розумні межі, визначувані термінами морального зносу, втратою конкурентоспроможності виробів тощо. Оскільки складність об'єктів зростатиме, а час проектування повинен скорочуватися, можна зробити висновок, що єдиною і розумною альтернативою неавтоматизованому проектуванню може бути широке використання САПР.

Спираючись на розгляд процесу проектування різних складних об'єктів і сутності вирішуваних при цьому проектних і проектно-технологічних задач, можна стверджувати, що системи автоматизованого проектування повинні:

- 1) автоматично виявляти найкращі проектні і проектно-технологічні рішення у всіх випадках, коли оптимізаційні задачі піддаються формалізації;
- 2) автоматично вводити у процесі роботи системи інформацію у всі взаємопов'язані програми, що використовують відповідну інформацію як початкова;

3) автоматично перевіряти сумісність рішень, щодо приймаються по різних частин та елементів проектованого об'єкта, і здійснювати (коли це можливо) коректування несумісних рішень без урахування проектувальника;

4) автоматично видавати у звичній для проектувальника формі проміжні результати

5) видавати будь-які проміжні результати за запитом проектувальника;

6) надавати проектувальнику можливість вносити довільні корективи у попередньо ухвалені системою рішення;

7) давати можливість ізольованого рішення окремих задач за початковими даними, що задаються проектувальником;

8) накопичувати досвід проектування;

9) видавати за запитом будь-які відомості, що зберігаються в банку даних системи;

10) забезпечувати можливість вдосконалення і розвитку системи без її докорінної переробки.

Усі ці вимоги можуть бути зведені до двох найважливіших якостей системи: інформованість і адекватність. Саме вони практично повністю визначають успіх упровадження й експлуатації САПР.

Практика розробки й експлуатації САПР показує, що ряд особливостей побудови автоматизованої системи може бути обумовлений і сформульований до початку її проектування. Специфіка об'єкта проектування накладає вимоги на структуру й організацію САПР.

2.2. Структура САПР ДВЗ

Система автоматизованого проектування є організаційно-технічним комплексом, що складається з великої кількості підсистем і компонентів. Підсистеми є основними структурними ланками САПР і розрізняються за призначенням і за відношенням до об'єкта проектування.

Існуючий вітчизняний і зарубіжний досвід у сфері автоматизації проектування свідчить про те, що розробка, упровадження й ефективне використання програмних комплексів, призначених для автомати-

зації процесу проектування і реалізовуваних на базі сучасних ЕОМ, вимагають комплексного рішення широкого спектра проблем: організаційних, технічних, математичних, програмних, лінгвістичних, інформаційних тощо. Рішення таких проблем базується на відповідних видах забезпечення.

Складність розробок великих комплексів взаємопов'язаних програм полягає в тому, що ефективність вирішення кожної конкретної проблеми, як правило, визначається на завершальному етапі роботи, коли вся або велика частина системи починає функціонувати. Це зумовлює складність створення високоефективних програмних комплексів під час первинної розробки. Як правило, система стає ефективною в ході порівняно тривалого процесу створення, випробувань, удосконалення і доведення.

Під проблемою синтезу структури САПР маються на увазі:

- визначення складу і взаємозв'язків елементів системи;
- вибір принципів організації взаємодії елементів;
- оптимальний розподіл функцій між людиною та ЕОМ;
- вибір організаційної ієрархії;
- вирішення питань організації інформаційного інтерфейсу між елементами системи.

Задачі синтезу структури САПР взаємопов'язані із задачами оптимізації функціонування системи.

Обмеженнями в процесі синтезу структури САПР є допустимі навантаження елементів (обсяги інформації), що переробляються в одиницю часу. Одним із таких елементів САПР є людина, яка, як показують дослідження, нерідко вимушена ухвалювати рішення в процесі роботи в системі зі швидкістю, у багато разів більшою, ніж за умови традиційної роботи. Природно, що вона не може тривалий час витримувати таке навантаження.

Серед різноманітних систем управління (до яких, в зокрема, належать і системи проектування) найбільш поширеними є системи з ієрархічною структурою.

Їх характерні особливості є:

- автономність окремих підсистем;
- управління підсистемами при неповній інформації;

- агрегація інформації при русі вгору за ієрархічними сходинками;
- взаємовплив підсистем через наявність загальних обмежень.

Основи математичної теорії синтезу структури складних систем сьогодні тільки закладаються. Як критерій ефективності їх функціонування зазвичай, приймається максимум інформації, одержаної в одиницю часу.

САПР включає такі види забезпечення:

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

Основними структурними елементами САПР є підсистеми, які поділяються на проектувальні та обслуговувальні. До проектувальних відносять підсистеми, що виконують проектні процедури й операції, наприклад розрахункову, креслярсько-графічну, підсистему підготовки носіїв для верстатів із числовим програмним управлінням (ЧПУ) й автоматизованих ліній. До обслуговувальних відносять підсистеми, призначені для підтримки працездатності проектувальних підсистем, наприклад, підсистему управління даними і тощо.

Залежно від відношення до об'єкта проектування також розрізняють об'єктно-орієнтовані (об'єктні) й об'єктно-залежні (інваріантні) системи.

Кожна підсистема САПР, як правило, створюється у вигляді пакета програм (ПП), під яким розуміється комплекс взаємопов'язаних програм, що мають спеціальну організацію, яка забезпечує значне підвищення продуктивності праці користувача при рішенні конкретних задач (рис. 2.2).

С А П Р	
об'єктивні підсистеми	інваріантні
<ul style="list-style-type: none"> – моделювання й аналіз – конструювання – процес технологічної підготовки виробництва 	<ul style="list-style-type: none"> – оптимізація – синтез – організація діалогу між ЕОМ і користувачем – системи машинної графіки

Рис. 2.2. Підсистеми САПР

Загальними особливостями організації ПП є такі.

1. Орієнтація пакета на певний клас задач. При цьому ПП поділяють на методо-орієнтовані та проблемно-орієнтовані. Перші призначені для рішення задач різними методами, наприклад, пакет алгоритмів параметричної оптимізації. Другі пакети призначені для рішення деякого набору задач, які розрізняються як за постановкою, так і за методами рішення.

2. Кожний ПП має деякий набір можливостей за методами обробки даних, формами надання результуючої інформації тощо. Це дає можливість користувачу вибрати необхідний варіант обробки даних.

3. Значне зниження вимог до рівня професійної підготовки інженера-користувача у сфері програмування порівняно з підготовкою математика-програміста.

При класифікації ПП зазвичай указується тип операційної системи, під управлінням якої працює пакет, і спосіб організації пакета. За способом організації ПП поділяються на пакети з бібліотечною і блоковою організацією. Перша є найпростішою й орієнтованою на користувачів-програмістів високої кваліфікації. При такому підході мало проблем при формуванні пакета, проте з'являються серйозні труднощі під час експлуатації пакета, оскільки стиковка програм за інформацією постійно вимагає втручання користувача на рівні алгоритмічної мови.

При блоковій організації ПП визначається круг вирішуваних задач, і для кожної із них складається граф управління, згідно з яким якому з початкової сукупності програм у певному порядку викликаються ті, що задіяні в даній задачі. При зверненні до пакета достатньо вказати шифр відповідного графа управління і задати необхідну початкову інформацію, що забезпечує зручність і простоту при експлуатації. Недолік подібного підходу полягає в тому, що при появі нових задач вимагається з початкових програм формувати новий граф управління, а для цього потрібне знання функцій і особливостей кожної програми.

У випадку блокової організації ПП за принципом «чорного ящика» автоматично формується граф, що містить послідовність програм, яка забезпечує рішення заданої користувачем задачі. При цьому враховуються причинно-наслідкові зв'язки між результатами функціонування усіх програм, що можна подати у вигляді матриць інцидентності, суміжності тощо.

За такої організації робота з пакетом значно спрощується, оскільки при зверненні до пакета достатньо тільки вказати мету звернення.

Як правило, ПП, що входять до САПР, повинні створюватися на основі єдиних принципів, з повним обсягом стандартизованої документації, з чіткою орієнтацією кожного пакета на конкретну функцію, виконувану САПР. Проте повної архітектурної єдності в ПП, що використовуються, досягти не вдається у тих випадках, коли у складі САПР використовуються ПП (переважно інваріантні), розроблені в інших організаціях. Такий підхід до комплексування САПР безумовно не дозволяє говорити про синтез її оптимальної структури. У той же час у зв'язку з інтенсивним розвитком програмного забезпечення останніми роками з'являється можливість підбору ПП різного призначення, які не порушують архітектурної єдності всієї системи.

Проте, не зважаючи на наявні відмінності в підходах до створення ПП, в основі їх побудови завжди лежить модульний принцип (рис. 2.3).

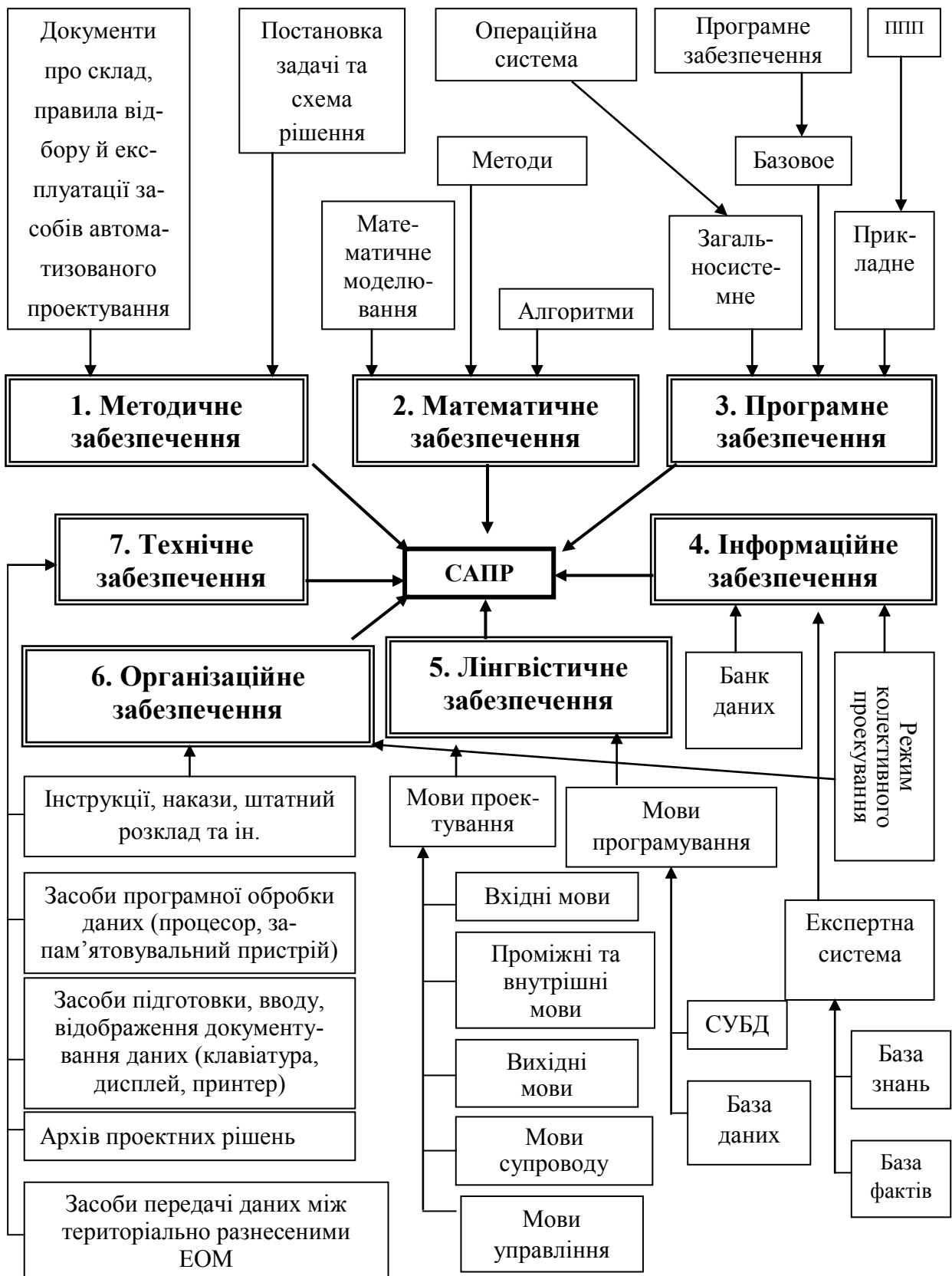


Рис 2.3. Загальна структура САПР

2.3. Основні принципи створення САПР ДВЗ

Проблема синтезу оптимальної структури САПР вирішується сьогодні як шляхом використання досвіду створення автоматизованих систем управління, так і за рахунок накопичення та використання досвіду створення й експлуатації крупних програмних комплексів. Цей досвід концентрується у ряді принципів, на які доцільно орієнтуватися, розробляючи САПР ДВЗ.

1. Сумісність автоматичного й автоматизованого способів проектування. Використання цього принципу дозволяє замінити один режим проектування іншим, більш продуктивним у кожному конкретному випадку, без зміни структури всієї системи в цілому.

2. Автономність окремих частин системи, побудованої на модульному принципі. Цей принцип допускає можливість незалежної розробки і незалежного введення в дію окремих частин системи, що дозволяє розширювати і ускладнювати систему в процесі її експлуатації.

3. Забезпечення інтерактивного режиму проектування, що дозволяє проектувальнику активно втручатися в цей процес, здійснювати контроль за ходом проектування в режимі діалогу. Організація інтерактивного проектування поліпшується зі зменшенням часу реакції ЕОМ.

4. Мінімальність взаємодії системи із зовнішнім середовищем, що допускає мінімізацію різних видів взаємодії системи із зовнішнім середовищем за рахунок скорочення обсягів вихідної й особливо вхідної інформації.

5. Принцип розвитку, що дозволяє проводити модернізацію системи і розширення її можливостей за рахунок удосконалення компонентів САПР і впорядкованості зв'язків між цими компонентами без перерви або з мінімальними перервами у функціонуванні системи.

6. Єдиний принцип побудови САПР для групи споріднених за функціональними характеристиками об'єктів.

7. Принцип еволюційності у проектуванні, тобто максимальне використання наявного досвіду і навичок проектування, перенесення їх у комплекс алгоритмів і програм, які є інструментом машинного проектування. Вдосконалення компонентів САПР у цьому випадку має базуватися на використанні методів евристичного програмування.

8. Принцип максимальної незалежності від технічних засобів, які постійно оновлюються.

9. Принцип системної єдності, який полягає в тому, що САПР будується як сукупність підсистем, функціонування яких є підпорядкований загальній меті.

10. Принцип наскрізного проектування, який забезпечує безперервний характер проектування об'єкта від елемента до виробу в цілому і допускає автоматизацію на різних етапах проектування від задуму до втілення проекту «в металі».

11. Принцип ієрархічної побудови системи, що обумовлює багатоступінчасту пірамідальну структуру системи з підкоренням низьких ланок вищим.

12. Принцип включення, що передбачає узгодження параметрів і можливостей конкретної САПР з більш складною системою (АСУП, автоматизованою системою наукових досліджень АСНІ), що стоїть вище на ієрархічному рівні.

13. Принцип інформаційної єдності, що вимагає використання в усіх підсистемах САПР нормативно встановлених у галузі правил вживання термінів, символів, способів надання інформації тощо.

14. Принцип моральної живучості, що допускає наявність у САПР засобів настройки на клас об'єктів, що розвивається, який змінюється як кількісно, так і якісно.

15. Принцип першого керівника, згідно з яким за процеси розробки, впровадження і розвитку САПР повинен безпосередньо відповідати керівник відповідного проектно-конструкторського підрозділу. Спроби передовірити це управління другорядним особам, як правило, закінчуються тим, що САПР або виявляються дискредитованими, або виконують рутинні функції.

16. Принцип нових задач припускає рішення на базі САПР таких задач, які без цих систем розв'язувалися частково, приблизно або не розв'язувалися взагалі через відсутність відповідних для цього ресурсів.

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

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

2.4. Види САПР

Особливістю автоматизованого проектування є те, що проектування ведеться в інтерактивному режимі, при цьому процеси синтезу при проектуванні переважно виконуються людиною, процеси аналізу – ЕОМ. У різноманітних за рівнем організації, складність й класом вирішуваних задач САПР ця особливість зберігається. Сьогодні розрізняють такі системи автоматизованого проектування:

Унікальні системи міжгалузевого характеру, створювані для рішення найбільших народногосподарських задач. Такі системи, як правило, мають короткий «життєвий» цикл, визначуваний часом проектування унікального виробу.

Крупні системи галузевого значення (ГСАПР). Найхарактернішими відмітними особливостями ГСАПР є такі:

- можливість рішення певного кола задач, що виникають під час проведення проектно-конструкторських робіт із заданим класом об'єктів;

- наявність галузевої бази даних, створення якої, як правило, стає можливим на основі спеціалізованого банку даних;

- наявність єдиної проблемно-орієнтованої мови проектування, доступної відповідним фахівцям (проектувальникам, конструкторам) кожного підприємства галузі;

- відробіток єдиної галузевої автоматизованої технології ухвалення проектних рішень на основі ГСАПР.

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

Істотною перевагою галузевого принципу БаСАПР слід вважати ту обставину, що створювані за її допомогою конкретні САПР будуть побудовані в одному базисі, на єдиній методологічній основі. Це забезпечує можливість використання програмного забезпечення різними САПР, обміну інформацією між окремими САПР, взаємної ув'язки проектних рішень, розповсюдження досвіду фахівців усередині галузі.

Головною відмінністю БаСАПР є якісно новий принцип її функціонування, який полягає в генерації промислових САПР шляхом настройки базових компонентів системи на конкретний клас проектованих об'єктів з подальшим їх доповненням, яке забезпечує функціональну повноту конкретної САПР, що зумовлює її високу ефективність, надійне і швидке впровадження на підприємствах галузі. У цьому випадку навіть відносно невелика проектна організація за допомогою БаСАПР дістає можливість використовувати найдосконаліші та найсучасніші методи і засоби автоматизованого проектування.

Сьогодні набувають поширення спеціалізовані інтегровані системи автоматизованого проектування, в яких передбачається повна автоматизація всіх розрахункових і креслярських робіт, а також технологічної підготовки виробництва (проектування технологічного оснащення, визначення оптимальних маршрутів, вибору устаткування й інструменту тощо.). Крім того, в них передбачається повна або часткова автоматизація виготовлення всієї необхідної документації (креслень, таблиць, текстів та ін.).

Інтегровані САПР повинні:

- охоплювати всі етапи проектування від введення опису проектованого об'єкта до отримання проектно-технічної документації (інтеграція за глибиною);

- мати на окремих етапах альтернативні алгоритми і програми, що дозволяють формувати найекономічніші та достатньо адекватні математичні моделі відповідно до конкретних умов проектування, вибирати різні математичні методи для рішення заданої задачі (інтеграція за шириною);

- мати систему управління проектуванням, а також інтегровану базу даних;

- бути пристосованими для тиражування у різних проектних організаціях.

Локальні автономні системи автоматизованого проектування вирішують окремі приватні задачі: конкретні проектно-конструкторські розрахунки, певні види креслярсько-графічних робіт тощо. По суті, локальні САПР є підсистемами і входять до систем більш високого рівня ієрархії.

2.5. Особливості технології автоматизованого проектування

Проектування як інваріантна по відношенню до конкретних об'єктів форма інженерної діяльності має ряд характерних особливостей.

1. Процес має ітераційний (такий, що повторюється) характер.

2. Рішення ухвалюється на окремих етапах в умовах неповної або недостатньої інформації, яка у цих випадках поступає або із зовнішнього середовища, або виробляється проектувальником у процесі творчої діяльності.

3. У процесі проектування поєднуються процедури алгоритмічного й евристичного характеру.

4. У проектній діяльності використовуються різні ресурси, серед яких одним із найважливіших є знання проектувальника.

5. Мета проектування встановлюється поза процесом проектування і залишається незмінною, поки триває цей процес.

6. Процес проектування виробляє інформацію, яка може бути використана у виробництві.

САПР у процесі проектування відіграє роль потужного засобу, ефективно вживання якого неможливе без розробки комплексу методичних вказівок і інструкцій, що регламентують послідовність етапів і що використовуються на кожному етапі.

Оскільки на кожному етапі автоматизованого проектування здійснюються різні операції з матеріальними і нематеріальними (інформаційними) об'єктами, а також виникає проблема найефективнішого розподілу цих операцій в часі і оптимального співвідношення у просторі з метою економії трудових і матеріальних ресурсів, то є доцільною необхідність розробки і відробітку технології автоматизованого проектування. Щоб розробити технологію автоматизованого проектування, необхідно ретельно вивчити сам процес проектування.

Метою будь-якого процесу проектування є синтез конструктивного варіанта об'єкта, що найбільшою мірою відповідає вимогам технічного завдання. Процес проектування зазвичай починається із збору інформації щодо спроектованих різновидів об'єкта, результатах виконаних науково-дослідних робіт, збору даних про випробування аналогів, умов постачання матеріалами тощо.

На підставі аналізу технічних характеристик, умов виготовлення й експлуатації прототипів спроектованого об'єкта, виявлення тенденцій розвитку об'єктів даного класу складається і коректується з урахуванням нормативних документів початкове технічне завдання на проектування. На початкових стадіях проектування вимоги технічного завдання конкретизуються у вигляді системи обмежень, яким повинні відповідати характеристики об'єкта, що забезпечують успішне рішення проектної задачі. Комплекс вимог до об'єкта можна надати у вигляді множини $T = \{t_{i,j} = 1, 2, \dots, N\}$, де N – кількість вимог.

За заданим вектором вимог проводяться формування і порівняння альтернативних варіантів проектних рішень.

Кожний варіант представляє безліч характеристик $X = \{x_{j,j} = 1, 2, \dots, M\}$. Окремі елементи цієї множини можуть збігатися з відповідними елементами безлічі вимог, інші можуть бути пов'язані побічно. У загальному вигляді M/N .

На етапі формування списку варіантів потрібне варіювання характеристик спроектованого об'єкта в області $V = \{v_{j,j} = 1, 2, \dots, M\}$, причому повинна дотримуватися умова XCV .

На даному етапі проектування відбувається відображення множин вимог T до спроектованого об'єкта на множину його характеристик X . Варіанти одержаного списку порівнюються між собою з використанням цільової функції $C = f(T, X)$, екстремум якої відповідає оптимальному рішенню задачі проектування. Як цільова функція приймається характеристика, яка найбільш повно відображає ефективність спроектованого об'єкта або деякий узагальнений критерій, що включає декілька характеристик. Таким критерієм при проектуванні, наприклад, двигунів, може бути токсичність відпрацьованих газів.

Аналіз процесу неавтоматизованого проектування дозволяє знайти в ньому ряд нераціональних сторін:

– необхідна для проектування інформація зберігається на традиційних паперових носіях у нерегульованому для конкретної проектно-ї задачі вигляді, що призводить до великих витрат часу на пошук та обробку цієї інформації;

– не забезпечується наскрізний характер проектування, що вимагає додаткових трудових ресурсів на стиковку, узгодження окремих проектних підзадач, здійснюване різними виконавцями;

– область варіювання характеристик X об'єкта проектування сильно звужена через обмеженість тимчасових ресурсів, що, як правило, призводить до знаходження неоптимального проектного рішення;

– існує великий обсяг проектних операцій нетворчого характеру (розрахунки, виготовлення технічної документації, ескізів, креслень тощо).

Таким чином, можна констатувати, що неавтоматизоване проектування – це процес із високим початковим рівнем ентропії, творчими і нетворчими операціями, що випадково перемагаються, з малою передбачуваністю кінцевого результату. Схематично надаючи цей процес як послідовність етапів $\{Z_r\}$ і підетапів $\{z_p\}$, можна побачити, що на всіх етапах єдиними керівними впливами є дії проектувальника $\{Y_r\}$ і $\{y_p\}$, які в основному визначаються суб'єктивними чинниками (досвідом, інтуїцією, ступенем відповідальності за кінцевий результат, самопочуттям, ступенем стомлення, емоційним настроєм, психологічною інерцією і тощо).

Радикальні відмінності автоматизованого проектування від неавтоматизованого полягають у такому:

1. Повна систематизація всієї інформації і надання її у вигляді наборів даних необхідного ступеня дискретності (елемента, набору даних, запису, файлу, бази даних). Позначимо ці порції інформації як $\{i_1\}$.

2. Чітка визначуваність етапів проектування $\{Z_r\}$ й альтернативність підетапів, $\{z_p\}$.

3. Однозначність або малий ступінь невизначеності управляючих дій $\{Y_r\}$ і $\{y_p\}$ на кожному етапі проектування.

4. Наскрізний, послідовний характер процесу проектування від первинного задуму до отримання остаточного проектного рішення.

Формально процес автоматизованого проектування можна представити як послідовне перетворення деякого первинного інформаційного представлення об'єкта $\{\hat{i}_1, \hat{i}_2, \dots, \hat{i}_s\}$ за допомогою дій $\{Y_r\}$ і $\{y_p\}$ у кінцевий стан $\{i^*_1, i^*_2, \dots, i^*_s\}$, що однозначно відображається на наступному етапі проектування в $\{x^*_j\}$, що відповідає $\{t_i\}$.

Як приклад такого перетворення, виконаного однозначно, можна навести процедуру формування графа обчислювального процесу, яка є одним із початкових етапів автоматизованого проектування будь-яких об'єктів, у тому числі і ДВЗ. Тут як \hat{i}_1 використовується стисла матриця інцидентності, що встановлює інформаційні зв'язки між всіма проблемними модулями, які входять до САПР, і всіма параметрами, що описують двигун. Іншою інформаційною конструкцією \hat{i}_2 є набір даних, що містить завдання на проектування. Обробка $\{\hat{i}_1, \hat{i}_2\}$ програмними операторами сортування $\{y_{1i}\}$, розчленовування $\{y_{2i}\}$ і впорядкування $\{y_{3i}\}$ масивів дозволяє як результат даного етапу одержати граф обчислювального процесу i_1'' , що містить послідовність проблемних модулів, реалізовуваних при проектному розрахунку двигуна, а також масив i_2'' з номерами параметрів, що задаються на розрахунок як початкові дані.

Таким чином, реалізація технології автоматизованого проектування потребує реалізації до комплексу вимог САПР:

- можливість формулювати вирішувані проектні задачі з наочної області різними мовами, зрозумілими проектувальнику;
- наявність засобів для ефективного коректування завдання на проектування з використанням простих форм вхідної мови (таблиць, бланків тощо);
- відсутність жорстких обмежень на структуру і обсяг вхідних даних і форми носіїв інформації, на яких вони зберігаються;
- можливість оперативного підключення до програмного забезпечення системи нових модулів і виключення застарілих;
- надання можливостей проектувальнику на основі проміжних результатів ухвалювати рішення про вибір методів для продовження проектної задачі, а також змін значень окремих параметрів у методі рішення, що використовується;
- можливість в ході виконання проектних операцій простежувати значення основних показників процесу, що свідчать про його ефекти-

вність, і залежно від їх значень коректувати обчислювальний процес;
– допустимість включення навчальних програм для підвищення кваліфікації проектувальника;
– забезпечення сумісності автоматизованого та неавтоматизованого проектування.

Підсистемами САПР називають частини загальної системи, що виконують строго визначені функції, але мають таку саме структуру, як вся система.

2.6. Загальний алгоритм проектування електро-механічних пристроїв (ЕМП) в умовах САПР

Будь-який процес проектування є взаємопов'язаними роботами, послідовність яких визначається інформаційним і методологічним змістом.

Етапи проектування ЕМП.

1. Введення основних вимог з ТЗ.
2. Завдання чітких обмежень на параметри
3. Вибір аналогів.
4. Розробка ескізу об'єкта.
5. Вибір прототипу.
6. Параметрична оптимізація
7. Детальний аналіз процесів в ЕМУ
8. Розрахунок допусків на параметри.
9. Імовірність аналіз.
10. Визначення надійності проектованого об'єкта.

Аналоги – група пристроїв, відібраних відносно до об'єкта, що виконують однакові функції з об'єктом і має одну область застосування.

Прототип – конкретний пристрій або предмет, що виконують не тільки однакові функції з об'єктом, але і мають ідентичну структуру, вхідні і вихідні параметри й область використання.

Параметрична оптимізація – визначення робочих показників об'єкта (параметрів) з подальшим їх поліпшенням.

Поліпшення – знаходження екстремуму (max або min) параметрів того або іншого об'єкта відповідно до критерію оптимальності.

Дуже часто під час розробки одного і того саме об'єкта оптимізаційних критеріїв буває декілька, тому рішення цієї задачі відбувається у декілька етапів.

Розробляючи складні технічних об'єкти, необхідно розділити об'єкт на складові частини однакової фізичної природи (приклад: гідравлічна частина, механічна, електрична), і промоделювати кожну частину окремо. Остаточний варіант моделей підсистем об'єднується або характеристиками вірогідності, або спеціалізованими методами моделювання.

Контрольні запитання

1. Яке проектування називають автоматизованим? Переваги і недоліки автоматизованого проектування.
2. Дайте визначення САПР. Основні етапи проектування на базі САПР.
3. Назвіть основні ознаки складного об'єкта проектування.
4. Назвіть основні вимоги до САПР.
5. Назвіть основні види забезпечення САПР і дайте їх коротку характеристику.
6. Наведіть загальну структурну схему САПР.
7. Назвіть основні особливості програмних продуктів.
8. Основні принципи створення САПР.
9. Наведіть основні види САПР і назвіть їх основні відмінності.
10. У чому особливість технології автоматизованого проектування?
11. Наведіть алгоритм проектування ЕМП в умовах САПР.

Лекція 3

ОСНОВИ ПОБУДОВИ САПР ДВЗ

- 3.1. ДВЗ як складна технічна система.**
- 3.2. Ступінь автоматизації етапів розробки конструкції ДВЗ.**
- 3.3. Основні елементи САПР ДВЗ.**
- 3.4. Структурна схема розрахункового блока САПР ДВЗ.**

3.1. ДВЗ як складна технічна система

Розробку системи автоматизованого проектування ДВЗ сьогодні визнано найактуальнішою задачею галузі. Проте в літературі не зустрічається жодної згадки про створення не тільки повної САПР ДВЗ, але і окремих її елементів, здатних виконувати самостійні функції. Безумовно, це наслідок дуже високої складності двигуна як технічної системи.

Дійсно, ДВЗ можна розглядати як відкриту неоднорідну динамічну стохастичну систему. ДВЗ – відкрита система, оскільки в процесі роботи здійснюється обмін робочим тілом із навколишнім середовищем (на тактах наповнення і випуску) та обмін з охолодною водою при використанні відкритих незамкнених систем охолодження. Двигун – неоднорідна система, тому що процеси, які визначають його функціонування, мають різну фізичну природу. До них належать, наприклад, процеси чисто механічні (перетворення поворотно-поступального руху в обертальний), фізико-хімічні (розпилювання і згоряння палива, утворення токсичних компонентів, сажі), теплообміну і газодинаміки тощо. Динамічність ДВЗ визначається циклічністю і нестационарністю робочих процесів у системах двигуна, що особливо проявляється на пускових і перехідних режимах. Утворення зносу визначає характер роботи двигуна як вірогіднісний. Проте в окремих випадках двома останніми властивостями двигуна як технічної системи можна нехтувати, наприклад, при розгляді сталого режиму роботи двигуна.

Основні відмітні ознаки довільної складної технічної системи: різноманіття виконуваних функцій; складний і розгалужений характер взаємодій між елементами; складний, розгалужений характер системи управління; залежність характеристик системи від взаємодії із зовнішнім середовищем; наявність тенденції тимчасового погіршення характеристик.

Проаналізуємо ДВЗ за цими ознаками. У процесі своєї роботи ДВЗ виконує різноманітні функції: дозування, подачу, розпилювання і спалювання палива; перетворення одного виду руху в інший; забезпечення працездатності всіх елементів конструкції тощо. Двигун складається, наприклад, з великої кількості окремих систем – циліндро-поршневої групи, системи паливоподачі, кривошипно-шатунного механізму, механізму газорозподілу тощо, причому вони тісно взаємодіють між собою у процесі роботи. Характер взаємодій, складний і часто неоднозначний, визначається різною фізичною природою процесів, що протікають у відповідних системах ДВЗ. Унаслідок великої кількості систем ДВЗ, що потребують строгої узгодженості в роботі, а також широкого діапазону виконуваних функцій, необхідна складна, високоорганізована система управління як окремими системами, так і двигуном у цілому. В процесі роботи двигун як відкрита система тісно взаємодіє з навколишнім середовищем, реагуючи відповідною зміною своїх характеристик на атмосферний тиск, температуру, вогкість повітря тощо. Крім того, спрацювання окремих елементів ДВЗ викликає погіршення його характеристик у часі. До цього призводять і такі процеси, як старіння масла, коксування і засадження поршневих канавок і розпилювачів форсунок.

Враховуючи зазначене, доходимо висновку, що розробка системи автоматизованого проектування є надзвичайно складною. Тому для вироблення загальної методології побудови САПР ДВЗ доцільно звернутися до вивчення досвіду інших галузей. На сьогодні САПР, судячи з літературних даних, розроблені та використовуються в мікроелектроніці під час проектування великих інтегральних схем (БІС), у суднобудуванні – під час розробки й оптимізації корпусних деталей судів, видачі алгоритмів розкрою елементів корпусу для автоматичних ліній, в авіації – під час проектування елементів крил і корпусів літаків.

Проте, як видно з наведеного переліку, всі ці задачі так чи інакше зводяться до плоских або до задач, що розвертаються на площину, причому в кожному випадку є чіткий і визначений критерій оптимізації конструкції. Так, у випадку проектування БІС основний критерій оптимізації – найщільніша компоновка за відсутності замикання контактів, у випадку розробки корпусу судна – мінімізація хвильового опору при збереженні міцнісних характеристик. Окрім того, ці технічні системи у загальному випадку можуть бути розглянуті як замкнуті однорідні статичні детерміновані, тобто мають місце найпростіші випадки.

ДВЗ під такі характеристики явно не підходить, оскільки задача істотно ускладнюється тривимірним характером його деталей і необхідністю їх просторової ув'язки в єдину систему. Тому при створенні системи автоматизованого проектування ДВЗ досвід розробки діючих САПР може бути використаний у дуже обмежених межах. Проте існують деякі загальні принципи побудови САПР. Зупинимось детально на них.

У загальній методології проектування складних технічних систем відомими є два основні методи – спади і висхідне проектування. Метод спадного проектування характеризується послідовним рухом від опрацювання більш загальних елементів до конкретних опрацювань їх складових частин, тобто розробка системи виконується згори «вниз». Перевагою даного методу є те, що навіть при нечітко сформульованих вимогах до характеристик всієї конструкції, у міру просування від елемента до елемента можливе послідовне їх уточнення і розвиток. Крім того, застосовуючи даний метод, можна у міру просування від рівня до рівня уточнювати і коректувати первинний план конструкції.

Метод висхідного проектування передбачає вдосконалення конструкції у напрямку від «окремого до загального», тобто коли з окремих елементів конструкції збирається вся система. На практиці зазвичай використовується як спадний, так і низхідний методи, проте при побудові САПР ДВЗ перевага віддається методу спадного проектування. Найбільш чітко сутність спадного проектування проявляється у блоково-ієрархічному підході, який полягає в такому.

У процесі розробки конструкції складної технічної системи, зокрема ДВЗ, виділяються відповідні ієрархічні рівні. Кожному з рівнів

відповідає своя глибина опрацювання конструкції в цілому або окремих її елементів (рис. 3.1). Так, на нульовому рівні вся система розглядається як єдине ціле, без розділення на окремі елементи. На цьому рівні спочатку задаються вимоги щодо потужнісних характеристик двигуна, його компоновальної схеми, тактності, граничних масогабаритних характеристик тощо. Ці вимоги повинні безпосередньо виплавити з технічного завдання на двигун. На наступному, першому, рівні вибирають окремі системи ДВЗ: уточнюється тип камери згоряння, ЦПГ, системи паливоподачі і повітропостачання. При цьому вимоги до їх конструкцій висувуються з урахуванням результатів проектування на попередньому, нульовому, рівні. Природно, що виходячи з технічного завдання на весь двигун не можна спочатку припустити, які саме властивості будуть потрібні від його окремих систем. Таким чином, конкретизація технічних завдань для окремих елементів при такому методі виконується у процесі проектування, посилюючись у міру просування від вищих рівнів до низьких. На другому рівні на підставі даних розробки окремих систем вибирають їх окремі елементи. Цей процес триває до повної розробки конструкції.

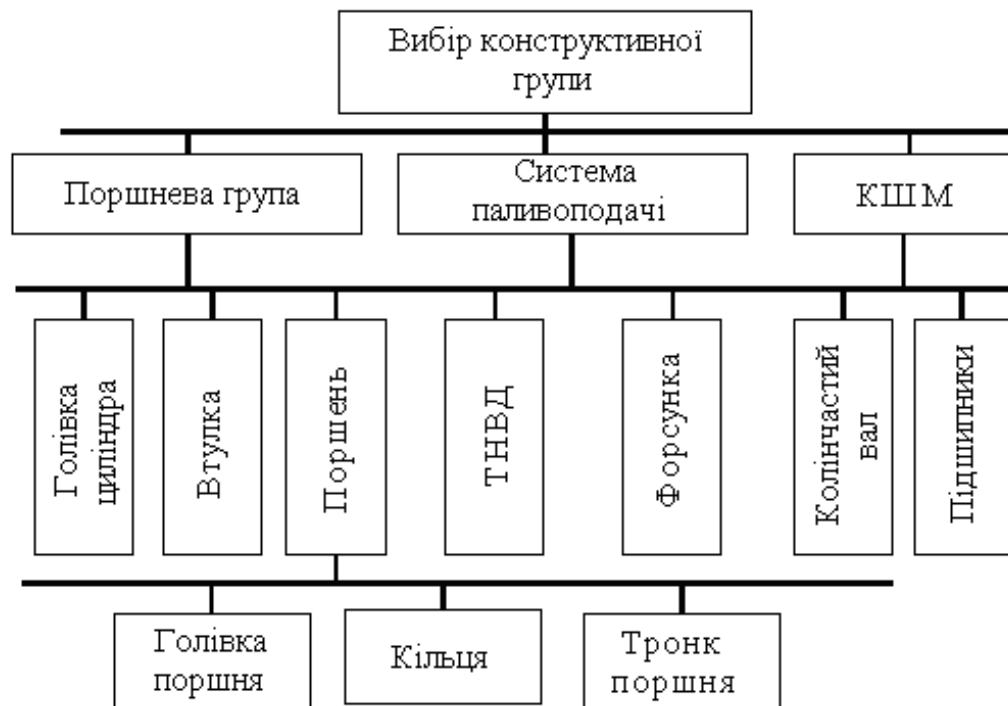


Рис. 3.1. Ієрархічна схема процесу конструювання ДВЗ

Проте може виникнути ситуація, за якої вимоги технічного завдання, поставлені на попередньому рівні, на низьких рівнях реалізувати для заданої конструкції не вдається. Тоді необхідне повернення на один рівень назад для перегляду рішення, прийнятого раніше. Так, через розробку послідовних технічних завдань, здійснюється зв'язок між рівнями проектування. Очевидно, що в цьому випадку сам процес розробки технічної системи матиме ітераційний характер.

Одним із перспективних напрямків у сучасному підході до конструювання складних технічних систем є широке використання уніфікованих вузлів і деталей, що дозволяє заощадити час за рахунок виключення етапів їх розробки. Потрібне лише включення уніфікованих вузлів в систему, що розробляється й узгодження їх характеристик. Цей принцип широко застосовується у двигунобудуванні. Зокрема, високий ступінь уніфікації мають основні навісні системи двигуна – турбокомпресори, паливні, масляні і водяні насоси тощо.

Очевидно, що використання широкої уніфікації означає вживання методу висхідного проектування у САПР, який, проте, використовується в обмежених межах – на певних рівнях, при проектуванні окремих систем. Загальний напрямок проектування залишається спадним.

При рішенні задач конструювання складних технічних систем необхідне розумне поєднання синтезу й аналізу. Задача синтезу полягає в генерації структури об'єкта, що розробляється. Синтез конструкції і визначає сутність процесу конструювання. Введемо класифікацію рівнів складності задач синтезу.

Перший рівень складності – синтез конструкцій, структура яких наперед визначена або на основі безпосередніх вимог ТЗ, або проведених раніше дослідницьких робіт. На цьому рівні сам синтез відсутній.

Другий рівень складності – синтез конструкції шляхом перебору варіантів з обмеженого набору уніфікованих або стандартизованих елементів.

Третій рівень – вибір варіанта на обмеженій послідовності при накладанні певних обмежувальних вимог.

Четвертий рівень складності – синтез з вибором варіанта з необмеженої послідовності або з послідовності з невідомими межами. У цьому випадку шляхом генерації системи з наперед не обумовленого списку елементів є можливість отримання нестандартної конструкції.

П'ятий рівень складності – задачі, що не мають прототипів або аналогів. Синтез конструкції з наявного набору неможливий.

Синтез конструкції окремих вузлів і систем ДВЗ частіше за все належить до другого-четвертого рівнів складності. Рідко, в основному під час розробки принципово нової конструкції, його можна віднести до п'ятого рівня складності.

При синтезі конструкції після вибору варіанта необхідний наступний крок – оцінка працездатності даного варіанта. Вона належить до задач аналізу конструкції. Найбільш ефективно такі задачі розв'язуються методом математичного моделювання з використанням сучасної обчислювальної техніки. Очевидно, що, виконуючи завдання з синтезу конструкції, доводиться аналізувати цілий ряд можливих варіантів. Докладне математичне моделювання кожного варіанта пов'язано з високими витратами. Спрощення ж цього процесу може призвести до серйозних помилок проектування. Таким чином, необхідний пошук оптимального варіанта, який дозволив би за умови прийнятних витрат одержати достатню надійність рішення. Для цього синтез конструкції необхідно виконувати на основі максимально повного опису технічних характеристик об'єктів з відповідного ряду. При цьому технічні характеристики закладаються на підставі даних математичного моделювання об'єкта, досвіду довідних робіт, серійного випуску й експлуатації. Характеристики об'єкта повинні дати повну картину можливостей його функціонування в рамках якої-небудь системи, можливостей стиковки з іншими елементами, необхідних ресурсів і витрат на виготовлення тощо. Подібний опис дозволить значно скоротити число помилкових варіантів вже на стадії синтезу. Аналізу піддаватимуться варіанти, що пройшли «сито» відбору на стадії синтезу.

Важливим аспектом проектування складних технічних систем є необхідність оптимізації конструкції (як окремих елементів, так і виробу в цілому). Коли задача оптимізації зводиться до поліпшення характеристик по одному-двох параметрах, як, наприклад, при розробці елементів корпусу судна, то рішення такої задачі не викликає утруднень. Але у випадку проектування такого складного об'єкта, як ДВЗ, де одночасно потрібна оптимізація щодо економічності, потужності, термінів служби, міцності, масогабаритних показникам тощо, задача

повної оптимізації нерозв'язна. Можна було б іти шляхом оптимізації окремих систем двигуна, якби не та обставина, коли вимоги до різних систем часто суперечать одна одній. У результаті при оптимізації конструкції ДВЗ доводиться вибрати найважливіший параметр і розв'язувати задачу за багатьох обмежень за іншими параметрами.

3.2. Ступінь автоматизації етапів розробки конструкції ДВЗ

Розробляючи САПР ДВЗ, слід виходити з того, що ЕОМ на будь-якій стадії свого розвитку залишиться лише інструментом, більш-менш досконало, що виконує тільки ті функції, які закладені в нього розробником на стадії генерації. Своєї логіки проектування обчислювальна машина виробити не може; це функція конструктора. Тому для створення логіки машинного проектування, яку можна закласти в основу САПР ДВЗ, необхідно назвати і проаналізувати (з точки зору можливості автоматизації) всі основні етапи розробки конструкції двигуна.

Початком будь-якого процесу конструювання є вироблення технічного завдання на створення системи. Основна мета цього етапу – визначення вимог, що висуваються до конструкції двигуна споживачем. Основні параметри, що закладаються в технічне завдання (ТЗ):

- ефективна потужність й обертальний момент двигуна (повинні повністю відповідати вимогам споживача; в конструкцію повинна бути закладена можливість форсування двигуна і забезпечення його працездатності у випадку короткочасних перевантажень);

- експлуатаційний діапазон частот обертання колінчастого валу (повинен бути злагоджений із споживачем);

- маса і габаритні розміри двигуна; економічність по паливу і змащувальному маслу;

- термін служби, час до першої перегордки;

- токсичні характеристики відпрацьованих газів;

- рівень акустичного шуму двигуна.

Вибір параметрів, що значною мірою визначають тип, компоновальну схему, тактність двигуна проводить конструктор, тому цей

етап автоматизації не підлягає. Проте на більш низьких рівнях проектування, коли розробляються й уточнюються технічні завдання на окремі елементи та системи, вимоги що висуваються до них, є наслідком попереднього аналізу конструкції на більш високому рівні. Оскільки цей аналіз може виконуватися і за допомогою ЕОМ (у системі САПР – тільки таким чином), то створюються певні передумови для автоматизації та нульового етапу.

Наступний етап – вибір прототипу двигуна, який би найбільше відповідав вимогам, сформульованим у ТЗ. Частіше за все це вимоги підвищеної економічності, потужності та ресурсу порівняно з існуючими варіантами конструкцій; окрім того, останнім часом висувається вимога багатопаливності двигуна. У таких випадках, як правило, не виникає необхідності у принципово нових розробках основних вузлів і деталей, і прототип обирають з множини варіантів за наявності ряду обмежень (за габаритними розмірами, вагою тощо). Тому цю задачу можна віднести до задачі параметричного синтезу третього рівня складності.

У той же час у ряді випадків може виникнути потреба в пошуку принципово нових або відмінних істотною новизною рішень. Так, при розробці нових вузлів для двигунів адіабатного типу не завжди можна скористатися досвідом конструювання ДВЗ звичного вигляду. Так, у ДВЗ адіабатного типу відсутнє охолодження теплонапружених деталей ЦПГ і необхідне створення принципово нових конструкцій теплоізолюваних поршня і кришки циліндра. Крім того, істотне зростання температури поршневих кілець вимушує відмовитися від звичної системи мастила розбризкуванням (барботажем) масла і передбачити можливості реалізації безмастильного ущільнення ЦПГ. Подібного роду задачі належать до п'ятого рівня складності й автоматизації не підлягають.

Залежно від класу складності задач, вирішуваних на даному етапі розробки конструкції ДВЗ, визначають можливий ступінь автоматизації даного процесу. Задачі синтезу третього класу складності достатньо легко формалізуються. Це типові задачі «бібліотечного пошуку», і сьогодні розроблені методи їх автоматизованого рішення (методи повного перебору, гілок і меж, дерева І-АБО і т.д.). У загальному випад-

ку ця задача належать до класу задач, що розглядаються теорією дискретного математичного програмування.

Усе сказане вище відноситься до вибору прототипу на більш низьких ієрархічних рівнях проектування, коли йдеться про розробку конструкцій окремих систем та елементів. З одного боку, внаслідок великої деталізації конструкції та конкретизації вимог ТЗ часто не знаходиться конструкції, яка могла б бути прототипом при розробці окремих вузлів і деталей, і необхідне рішення на рівні винаходу. З іншого боку, значний досвід двигунобудування і вживання принципу уніфікації вузлів і деталей дозволяє задачі пошуку прототипів для більшості елементів ДВЗ звести до задач другого або навіть першого рівня складності, тобто до простого вибору стандартизованої або уніфікованої деталі. Таким чином, етап вибору прототипу двигуна і його окремих вузлів і деталей може бути значною мірою автоматизований.

Після вибору прототипу приступають до етапу ескізного опрацювання двигуна. Розглянемо можливий ступінь його автоматизації. Як і в будь-якому іншому випадку, на даному етапі розв'язуються задачі синтезу й аналізу конструкції. Тут етап починається з аналізу, оскільки необхідно з'ясувати, за якими позиціями вибраний прототип відрізняється від вимог ТЗ. Далі досліджуються варіанти необхідних змін конструкції та їх можливі наслідки.

Якщо є необхідність заміні яку-небудь вузла двигуна іншим, але стандартизованим або уніфікованим, його підбір також можна здійснити автоматизовано в рамках тієї інформації, що є в ЕОМ. У процесі пошуку необхідним є елемент аналізу, з тим щоб змінний елемент міг бути зістикований з двигуном і забезпечив би його працездатність.

Отже, після завершення етапу ескізного проектування конструкція двигуна в цілому відома. Вибрано його компоновальну схему, тип і склад окремих систем і елементів, підібрані необхідні уніфіковані вузли та деталі. Конструктор й автоматизована система на цьому етапі виступають як практично рівні партнери – творчу частину роботи, пов'язану з розробкою нестандартних рішень, бере на себе людина, трудомістка частина роботи, пов'язана з переглядом й аналізом варіантів, вибором стандартизованих елементів, забезпеченням документацією, залишається для ЕОМ.

Наступний етап – *робоче проектування*. На цьому етапі на підставі даних, одержаних на попередній стадії, виконуються конструкторське і розрахункове опрацювання основних вузлів і деталей, видається робоча документація для виготовлення дослідного зразка двигуна. Слід зазначити, що за умови при використанні уніфікованих вузлів і деталей потреба в етапі робочого проектування практично відпадає, оскільки при підборі вузлів на стадії ескізного проектування видається і документація на її виробництво.

За необхідності розробки нових елементів двигуна на них видається технічна документація. Синтез цих елементів може бути здійснений як самим конструктором, так і за допомогою ЕОМ за відповідними конструкторськими алгоритмами. Проте другий варіант можливий тільки у випадку, якщо розробляється елемент достатньо простої конфігурації.

Основною функцією ЕОМ на цій стадії проектування є аналіз запропонованої конструкції за допомогою повнорозмірних математичних моделей. Саме це з достатньою мірою достовірності доводить правильність вибору основних конструктивних рішень, вибору розмірів, допусків, зазорів тощо. Сучасні методи розрахунку ДВЗ дозволяють з високим ступенем точності передбачити поведінку технічної системи практично будь-якої складності за будь-яких конструктивних і режимних дій на неї. Отже, попередній розрахунковий аналіз знову розроблюваного двигуна, дозволяє різко скоротити кількість помилок, неминучих навіть за найвищої кваліфікації конструкторського персоналу. Це істотно зменшує питому вагу експериментально-довідних робіт, що займають велику частину розробки ДВЗ.

Результатом етапу робочого проектування є робоча документація на двигун.

Наступний етап – *виготовлення дослідного зразка* і його доведення. Мета етапу – практична перевірка правильності прийнятих на стадії проектування конструкторських рішень щодо забезпечення працездатності ДВЗ і необхідних характеристик. Дві стадії цього етапу піддаються автоматизації в істотно різному ступені.

Перша стадія – виготовлення дослідного зразка. Очевидно, що цей етап може бути автоматизований тільки у випадку широкого

упровадження повністю безлюдних виробництв, при яких вся технічна документація з виготовлення дослідних двигунів на стадії робочого проектування перекладатиметься на відповідні алгоритми для гнучких автоматизованих виробництв (ГАП). Проте поки це справа майбутнього, ступінь віддаленості якої лише в дечому від розвитку галузі двигунобудування.

Мета другої стадії – доводка двигуна, виявлення на основі експериментальних даних слабких місць конструкції та їх подальше виправлення. На цьому ж етапі виявляється відповідність характеристик розроблюваного двигуна, вимогам ТЗ і доведення його характеристик до потрібного рівня. Очевидно, даний процес може бути виконаний тільки ітераційним способом, тобто шляхом послідовного наближення характеристик системи до ТЗ внесенням різних змін до конструкції. Таким чином, на етапі доведення проводиться послідовне повернення на певні ієрархічні рівні етапів ескізного і робочого проектування двигуна. Кількість цих ітерацій цілком визначається ступенем досконалості тих розрахункових методів, які були використані під час аналізу конструкції на стадії її розробки. При 100-й точності цих методів можна було б обмежитися однією ітерацією. Проте будь-які розрахункові математичні моделі мають похибку, отже, навіть у випадку найдокладнішого аналізу конструкції матимуть місце певні помилки.

Своєрідним «зворотним зв'язком» між етапами розробки конструкторської документації і доведення двигуна є дані експериментального дослідження його характеристик. Отримання й обробку цих даних можна повністю автоматизовано шляхом запровадження автоматизувати випробувальних стендів. У даний час такі стенди використовуються на більшості крупних підприємств галузі. При цьому ЕОМ використовується і як керувальна ланка, і як засіб збору, обробки та видачі інформації.

3.3. Основні елементи САПР ДВЗ

На підставі попереднього аналізу процесу проектування ДВЗ як складної технічної системи можна зробити висновок, що повна його автоматизація на сучасному рівні розвитку техніки ще неможлива.

Тому САПР ДВЗ є людино-машинною системою, призначеною для регулярного вирішення конструкторських, технологічних і довідних задач, що виникають в процесі розробки конструкції двигуна, його окремих систем й елементів. З даного визначення випливає, що в системі САПР функції людини та ЕОМ відповідним чином розділені.

Основні задачі, вирішувані розробником і користувачем САПР ДВЗ:

- генерування структури САПР на базі комплексу ЕОМ і засобів машинної графіки, автоматизованих виробництв і засобів вимірювань;
- розробка й уточнення, що математичних моделей використовуються у розрахункових блоках САПР, розширення уявлень про процеси, які відбуваються у різних системах ДВЗ;
- створення принципово нових конструктивних рішень, що поповнюють інформаційну систему САПР;
- задавання системі проектування початкових параметрів розроблюваного двигуна що і коректування їх у міру розробки конструкції;
- контроль і розвиток системи;
- виконання робіт, які унаслідок недосконалості САПР даного рівня розвитку непосильні для ЕОМ (складні графічні роботи, задачі синтезу четвертого-п'ятого рівня складності, виготовлення експериментального зразка тощо.).

ЕОМ може узяти на себе такі функції:

- вибір прототипу в межах тієї інформації, яка міститься біля ЕОМ;
- забезпечення документацією конструктора-розробника;
- виконання трудомістких розрахунків систем і деталей, їх міцнісних характеристик тощо;
- вибір уніфікованих вузлів та деталей на підставі даних попереднього розрахунку всієї системи;
- виконання частини конструкторсько-креслярської документації;
- управління виробництвом і випробуваннями дослідних зразків двигуна, обробка й аналіз експериментальних даних.

У міру розвитку САПР ДВЗ відносні частки внеску конструктора й ЕОМ у процес розробки двигуна змінюватимуться. На початкових стадіях формування САПР ДВЗ основна частка конструкторської пра-

ці лежить на розробнику системи і її користувачі; у міру розвитку системи все більш численні функції може узяти на себе ЕОМ.

Структура САПР ДВЗ повинна включати такі системи: інформаційну, конструкторську, аналізу конструкції, графічну, технологічну.

До функцій **інформаційної системи (ІС)** САПР ДВЗ входить зберігання, систематизація, пошук, видача інформації, необхідної для забезпечення процесу конструювання. До інформації подібного рЗДУ слід віднести бібліотеку прототипів двигунів та їх окремих систем, відомості про стандартизовані й уніфіковані елементи конструкції, креслярсько-конструкторська документація на них, довідково-нормативні документи, дані про фізичні властивості матеріалів, що застосовуються у двигунобудуванні, ГОСТи, описи алгоритмів та інструкції щодо користування розрахунковими методиками, що містяться в системі аналізу конструкції тощо.

Зберігання цієї інформації можливе у вигляді фотокопій, мікрофішів і т. ін. Частина інформації фактографічного типу у вигляді кодованих словесних описів, наборів числових кодів зберігається на елементах магнітної пам'яті ЕОМ. Крім того, до ІС повинні бути включені технічні засоби для швидкого розмноження необхідних документів і їх видачі в автоматизовані блоки САПР, а також для забезпечення процесу «ручного» проектування.

Розробка ІС, що обслуговує систему САПР, є однією з найважливіших задач, що виникають під час створення САПР. На сьогодні накопичено достатньо великий досвід щодо організації ІС різного виду. Існує теорія автоматизованих інформаційних систем, якою через загальний характер основних принципів накопичення, систематизації та пошуку інформації можна скористатися при формуванні ІС САПР ДВЗ.

Основна функція **конструкторської системи** – ухвалення рішення щодо реалізації конструкцій окремих вузлів і деталей; сюди входять підбір і забезпечення можливості стиковки з основною системою уніфікованих вузлів і деталей. Основну роботу, пов'язану з розробкою нових конструкцій елементів ДВЗ, виконує конструктор, оскільки вона має творчий характер і в даний час не може бути автоматизована. Швидше за все, найближчим часом розділення функцій людина – ЕОМ саме в межах цього блока буде виражена найбільш чітко.

Основні функції **графічного блока**, включеного в САПР ДВЗ, – виконання крайової креслярсько-графічної документації. Для її реалізації до складу технічних засобів входять засоби машинної графіки – пристрої введення і виведення графічної інформації, графічні дисплеї, крім того, передбачається відповідне математичне забезпечення ЕОМ, що дозволяє розв’язувати графічні задачі (наприклад, мови Геометр-66 і Графор).

Функціями **технологічного блока** є ув’язка конструкції, що розробляється, з можливостями сучасного виробництва. За умови достатньої автоматизації самого процесу виробництва цей блок буде функціональним зв’язком, який забезпечує роботу системи проектування як керувальна ланка для випуску експериментальних зразків ДВЗ і їх доведення. В цю систему повинні бути закладені відомості про можливості виробництва, на якому планується випуск двигуна, його структура, нею повинна проводитися розробка відповідних програм для верстатів з ЧПУ і ГАП, вибір необхідного інструменту тощо.

Як впливає з наведеного вище опису, побудова і функції систем САПР ДВЗ в цілому дещо відрізняються від аналогічних блоків САПР інших технічних систем. Розробку елементів САПР необхідно проводити так, щоб вони були максимально уніфікованими по відношенню до різних об’єктів проектування. Перехід до реальної системи, пристосованої для включення в САПР якого-небудь виду, повинен бути здійснений простим підключенням до неї проблемно-орієнтованого банку даних.

3.4. Структурна схема розрахункового блока САПР ДВЗ

Структурна схема розрахункового блока САПР ДВЗ (рис. 3.2) передбачає вертикальний і горизонтальний розподіл всієї розрахункової схеми на рівні і напрямки за типом вирішуваних задач. Нульовим рівнем роботи РБ САПР ДВЗ можна вважати роботу керувальної програми. На цьому етапі в розрахунковий блок з інформаційної системи або від користувача САПР вводяться дані про конструкцію двигуна і наближені параметри досліджуваного режиму. На першому рівні ана-

лізуються робота і характеристики всього двигуна і підсистеми, які забезпечують робочий процес, – повітряпосточання і паливоподачу. Зокрема, основна мета даного розрахунку – визначення параметрів робочого тіла (тиску, температури і маси залежно від кута повороту колінчастого вала) при протіканні робочого циклу двигуна. Ці дані є початковими для всього подальшого процесу аналізу.

На другому рівні аналізується робота окремих систем – ЦПГ, КШМ, змазування, охолодження тощо. Далі, вже в рамках функціональних підблоків, виконується розрахунок окремих елементів кожного блока і перевіірочні міцнісні розрахунки.

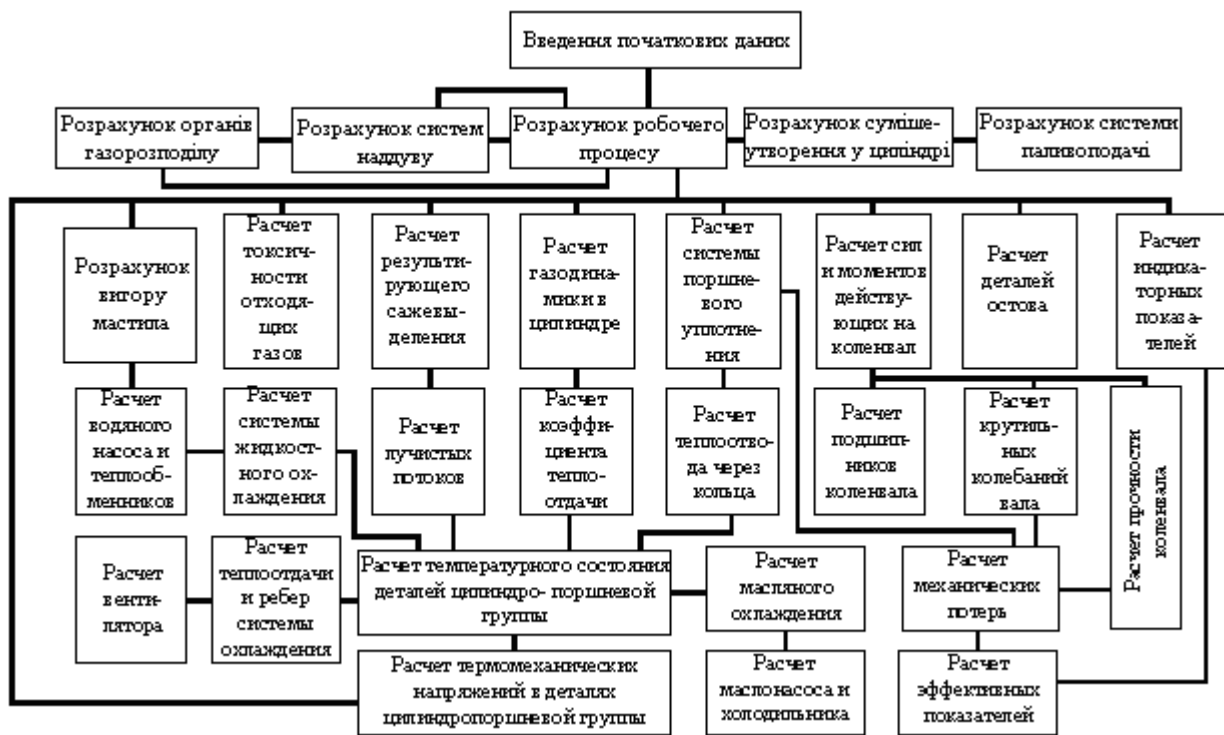


Рис. 3.2. Структурна схема розрахункового блока САПР ДВЗ

Вже на другому рівні в системі можна виділити декілька головних напрямків за окремими системами двигуна і його характеристиками, розрахунок термонапруженого стану деталей ЦПГ, міцність колінчастого вала і працездатність підшипників, розрахунок механічної міцності остову двигуна. Інший напрямок – аналіз характеристик двигуна за економічністю, паливом і маслом, димності і токсичності ОГ.

Ці напрямки взаємопов'язані, між ними проводиться обмін інформацією. Так, для розрахунку механічних втрат у двигуні необхідно знати втрати у ЦПГ, підшипниках й окремих агрегатах двигуна.

Кожний із функціональних блоків системи аналізу конструкції також є складною розгалуженою системою, що включає блоки різного ієрархічного рівня. При реалізації розрахункових методик необхідно передбачити можливість використання стандартних розрахункових методів, оформлених у вигляді програм загального математичного забезпечення САПР. Так, більшість міцніших розрахунків можна виконати за допомогою програм МКЕ, методики розрахунку токсичності ОГ, результуючого сажевиділення, роботи кільцевого ущільнення, вигорання змащувального масла, індикаторного процесу в циліндрі з використанням стандартної програми рішення систем нелінійних диференціальних рівнянь тощо.

Слід зазначити, що всі розрахунки, виконувані в рамках системи, мають ітераційний характер, оскільки їх результати частіше за все вже задаються у вигляді першого наближення на більш високих рівнях розрахункової схеми. Так, для розрахунку індикаторного процесу необхідне знання температур стінок КС. Але точні значення цих величин отримують тільки на третьому рівні розрахунку. За цими даними можна уточнити параметри протікання робочого процесу, виконувати ще одну ітерацію.

Контрольні запитання

1. Проаналізуйте ДВЗ як складну технічну систему.
2. У чому сутність спадного проектування ДВЗ.
3. Наведіть класифікацію рівнів складності задач синтезу.
4. Назвіть етапи розробки конструкції ДВЗ.
5. Назвіть основні елементи розрахункового блока САПР ДВЗ.

Лекція 4

МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

4.1. Способи моделювання і математичні моделі.

4.2. Загальний вигляд математичної моделі. Типи розв'язуваних задач.

4.3. Ідентифікація об'єкта.

4.4. Система аналізу конструкції ДВЗ.

4.1. Способи моделювання і математичні моделі

Математичне забезпечення – сукупність математичних методів і алгоритмів для написання програм з метою реалізації на ЕОМ, а також математичні моделі, одержані за допомогою математичних методів і моделювання на ЕОМ.

Розпізнавання при проектуванні складних систем – багаторівневий процес. Він характеризується послідовними етапами, передбаченими процедурною моделлю, на кожному з яких проектувана система одержує опис мовою ознак, як створюють певний простір. На кожному етапі область ознакового простору звужується за рахунок конкретизації опису структури елементів об'єкта та їх параметрів. У зв'язку із цим опис об'єкта проектування можна назвати стратифікованим, таким, що розвивається від стислого на етапах верхнього рівня процедурної моделі, до розгорнутого на нижніх. Опис об'єкта проектування при використанні ЕОМ повинен мати характер математичних моделей (ММ). Для будь-якої ситуації ухвалення рішень моделі є множиною співвідношень, що пов'язують керувальні дії (змінні, значення яких обираються особою, яка ухвалює рішення) і параметри даної задачі з вихідними змінними (змінні, що залежить від вибору керувальних дій).

Модель – віддзеркалення всіх властивостей об'єкта у формі математичних рівнянь, графічних зображень, алгоритмів, таблиць тощо.

Процес моделювання – сукупність дії, що виконуються для побудови і визначення математичної моделі з метою отримання адекватного опису об'єкта.

Способи моделювання.

1. Масштабне моделювання – натуральний об’єкт і модель мають однакову фізичну природу і відрізняються один від одного розмірами (проекти міст).

2. Аналогове моделювання – об’єкти однієї фізичної природи замінюються об’єктами іншої фізичної природи на основі прямих аналогій.

3. Напівнатурне моделювання – метод експериментальних досліджень, який припускає поєднання частини об’єкта в натурі через складність його математичного опису і частину, яка надається математичною моделлю.

4. Математичне моделювання – об’єкт представлений строго певними математичними залежностями, тобто математичними моделями які адекватно описують реальний об’єкт.

Математична модель технічного об’єкта є сукупністю математичних об’єктів (чисел, змінних, матриць, множин тощо) і відносин між ними, яка адекватно відображає властивості технічного об’єкта, що цікавлять інженера, який розробляє цей об’єкт. Виконання проектних операцій і процедур у САПР базується на оперуванні ММ. За їх допомогою прогнозуються характеристики і оцінюються можливості запропонованих варіантів схем і конструкцій, перевіряється їх відповідність вимогам, що висуваються, проводиться оптимізація параметрів, розробляється технічна документація тощо.

У САПР для кожного ієрархічного рівня сформульовано основні положення математичного моделювання, обрано і розвинено відповідний математичний апарат, одержано типові ММ елементів проєктованих об’єктів, формалізовано методи отримання й аналізу математичних моделей систем. Складність задач проєктування і суперечність вимог високої точності, повноти і малої трудомісткості аналізу обумовлюють доцільність компромісного задоволення цих вимог за допомогою відповідного вибору моделей. Це приводить до розширення множини моделей, що використовуються, і розвитку алгоритмів адаптивного моделювання.

На будь-якому рівні до ММ висувають вимоги точності й економічності. Для проблемно-орієнтованих САПР важливою є ще й універсальність моделей. Під **точністю** ММ розуміють ступінь збігу пе-

редбачених на основі моделей значень параметрів з їх істинними значеннями. Перевірити модель на точність можна за тестовими ситуаціями. Економічність ММ пов'язана з витратами на використання моделей. У САПР ці витрати пов'язані, зокрема, з машинним часом. Універсальність ММ припускає їх використання для цілого класу об'єктів.

Якщо весь процес математичного моделювання представити у вигляді піраміди (рис. 4.1), то видно, що найбільш трудомістким процесом є створення математичної моделі і розробка алгоритму.

програми	20 %
обчислювальні процеси	
алгоритми	80 %
математичні моделі	

Рис. 4.1.

Усі **символьні** моделі є моделями, виконаними мовами символів; рівняння, цифри, букви або словесні описи, які поділяються на сенсорні та математичні.

Сенсорні – будь-який мовний опис моделі.

Математичні – символльні описи, рівняння, нерівності тощо.

Дійсні моделі використовуються у випадку фізичного і прикладного моделювання.

Фізичні – використовуються при побудові аналогових моделей.

Прикладні – ґрунтуються на теорії подібності, де коефіцієнт подібності змінює лише розміри реального об'єкта і моделі.

Математичні моделі – аналітичні й імітаційні.

Аналітичні – у своїй основі містять основні фундаментальні закони фізики і математики, які трансформуються під об'єкт залежно від сфери застосування даного об'єкта, в основному це задачі аналізу.

Імітаційні – за своєю сутністю відображають взаємозв'язок складних технічних об'єктів, при цьому імітуються більш детально і докладно, ніж в аналітичних моделях, основні критерії оптимізації. В основному тут працює теорія масового обслуговування.

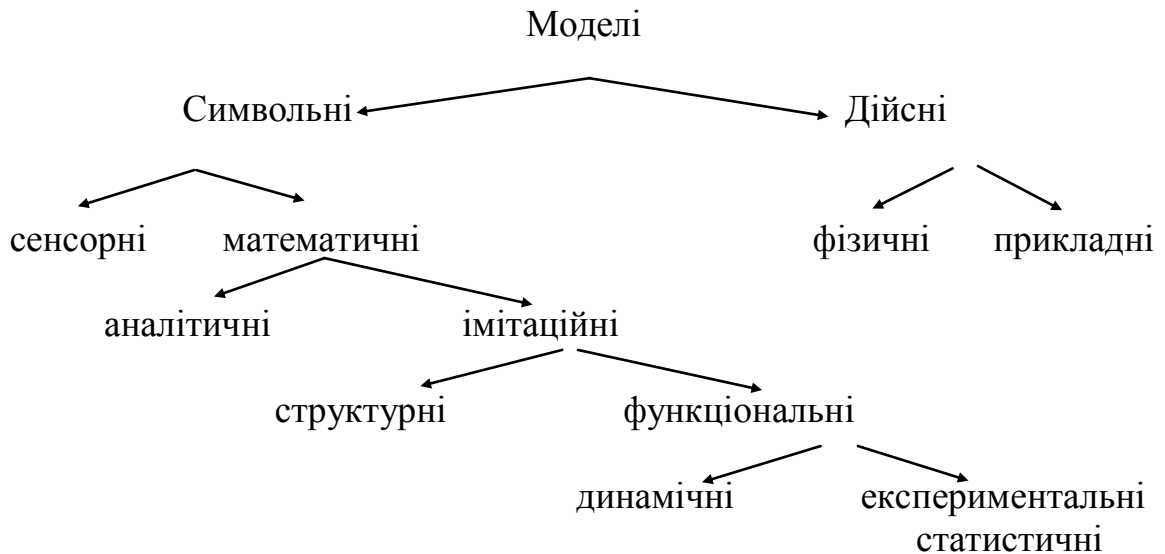


Рис. 4.2. Класифікація математичних моделей

Імітаційні моделі поділяються на структурні і функціональні:

- структурні моделі своїм інструментом передбачають теорію графів, за допомогою якої відстежується повний взаємозв'язок складових частин об'єкта між собою, і враховуються їх зв'язки у системі. Тут розв'язуються задачі синтезу, створюється структура розроблюваного об'єкта з обмеженнями, що накладаються. Будуючи структурні моделі, в першу чергу розв'язують задачі параметричної оптимізації, тобто створюють структура об'єкта, за якої досягатиметься екстремум того або іншого параметра об'єкта, за яким визначається критерій якості;

- функціональні моделі надаються у вигляді різних диференціальних рівнянь, в ході розв'язання яких проводиться аналіз моделі і виявляється відповідність одержаної математичної моделі основним функціям об'єкта. Ці моделі займаються аналізом.

Функціональні моделі поділяються на динамічні та експериментально-статичні:

- динамічні – моделі, за допомогою яких визначається стійкість об'єкта як системи в цілому, її рівень адекватності і ступінь надійності. Основною математичного апарату є теорія автоматичного управління і регулювання (ТАР);

- експериментально-статичні існують для оцінки результатів побудови моделі після проведення експериментів з об'єктом, тобто ви-

значається відповідність моделі об'єкта за апріорними й апостеріорними даними. Основою математичного апарату є кореляційно-регресійний аналіз і теорія планування експерименту.

Мікро-, макро- і системний рівні. Залежно від складності об'єкта при його проектуванні використовують більшу або меншу кількість рівнів абстракції. Об'єднання рівнів, споріднених за характером математичного апарату, що використовується, приводить до утворення трьох укрупнених рівнів – мікро-, макро- і системний – в ієрархії функціональних моделей для більшості проєктованих складних об'єктів.

Мікрорівень – ієрархічний рівень в описі складних об'єктів, характерною особливістю якого є розгляд фізичних процесів, що протікають в суцільних середовищах і безперервному часі. На мікрорівні описуються стани суцільних середовищ, складаються елементи і деталі проєктованих об'єктів. Такими ММ є рівняння математичної фізики з відповідними краєвими умовами (наприклад, диференціальні рівняння у частинних похідних (ДРЧП)).

Приклади:

- рівняння теплопровідності;
- рівняння дифузії;
- рівняння пружності;
- рівняння газової динаміки.

В яких незалежними змінними є час t і просторові координати x_1, x_2, x_3 (якщо відсутній час t – рівняння називаються стаціонарними, в іншому випадку – нестаціонарними).

Рівняння може бути одно-, дво- і тривимірним, залежно від кількості змінних.

Наприклад, рівняння теплопровідності:

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \alpha_T \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = 0, \quad (4.1)$$

де α_T – коефіцієнт теплопровідності.

Це рівняння є нестаціонарним одновимірним.

Макрорівень – ієрархічний рівень в описі складних об'єктів, характерною особливістю якого є розгляд фізичних процесів, що проті-

кають у суцільних середовищах у безперервному часі, але дискретизованому просторі. На цьому рівні як блоки при проектуванні фігурують складальні одиниці, а їх елементарними частинами є деталі.

На макрорівні перехід здійснюється шляхом виділення у модельованому об'єкті кінцевого числа частин (елементів). Таке виділення можна представити як дискретизацію простору, за якої з незалежних змінних виключаються просторові координати. Замість полів фазових змінних з'являється скінченна кількість фазових змінних.

Наприклад: досліджуючи електричні властивості деякого напівпровідникового тіла можна виділити в ньому скінченну кількість елементарних частин, кожену частину представити електричним опором R_i , і місткістю C_i .

При переході до подання на макрорівні рівняння перетворюється на систему звичайних диференціальних рівнянь (ЗДУ). Зокрема, вироджуються в систему алгебричних рівнянь.

Системний рівень – фігурують системи у безперервному часі і дескретизованому просторі. При переході до подання на макрорівні, рівняння перетворюється на систему звичайних диференціальних рівнянь. Зокрема, вироджуються в систему алгебричних рівнянь. На системному рівні при моделюванні аналогових об'єктів виявляються такі особливості:

- як елементи розглядаються більш складні об'єкти, ніж на макрорівні;
- для опису стану об'єкта використовуються фазові змінні одного типу (наприклад, тільки напруги або струми), що називаються сигналами;
- приймається допущення про односторонню передачу сигналів усередині елементів – від входів до виходів;
- враховується вплив навантаження на стан елементів.

Однак процеси розглядаються у безперервному часі зі збереженням безперервного характеру фазових змінних, тому ММ аналогових об'єктів залишаються системами ЗДУ.

Для реалізації ММ, що подаються ДРЧП, або системами ЗДУ, використовують чисельні методи безперервної математики, тому розглянуті ММ називаються безперервними.

Вживання МКР і МКЕ до стаціонарних ДРЧП приводить до системи алгебричних рівнянь (АР), а до нестаціонарних ДРЧП – до системи ЗДУ. Алгебризація і дискретизація системи ЗДУ за змінною t здійснюється методами числової інтеграції. Для нелінійних ЗДУ це перетворення приводить до системи нелінійних АР, для лінійних ЗДУ – до системи лінійних алгебричних рівнянь (ЛАР). Нелінійні АР розв'язуються ітераційними методами (методи Ньютона, Зейделя, Якобі). ЛАР зводиться методами розв'язання Гауса або LU-розмноження.

Безперервні ММ набули широкого розповсюдження у САПР різних галузей промисловості. Вони є основою МО підсистем функціонального проектування металообробних верстатів, ДВЗ, турбін, електричних машин й інших об'єктів транспортного, енергетичного і хімічного виробництва.

На системному рівні переважно поширеними є моделі систем масового обслуговування (СМО).

Форми подання моделей. Для подання моделей використовують такі основні форми.

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

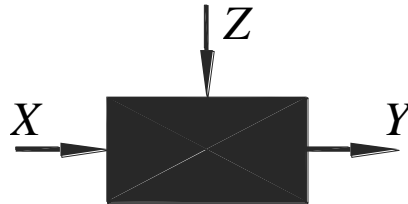
Алгоритмічна форма – запис співвідношень моделі і вибраного числового методу розв'язання у формі алгоритму.

Аналітична форма – запис моделі у вигляді результату аналітичного рішення початкових рівнянь моделі; зазвичай моделі в аналітичній формі є явними вирази вихідних параметрів як функцій внутрішніх і зовнішніх параметрів.

Схемна форма, яка також називається графічною формою, – подання моделі деякою графічною мовою, наприклад мовою графів, еквівалентних схем, діаграм тощо. Графічні форми є зручними для сприйняття людиною.

4.2. Загальний вигляд математичної моделі. Типи розв'язуваних задач

Загальний вигляд математичної моделі представляється з визначення кібернетичного «чорного» ящика.



$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множина вхідних параметрів;

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – множина збурювальних впливів;

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ – множина вихідних параметрів:

$$Y = F(X, Z).$$

Загальний вигляд математичної моделі являє собою залежність виходу від входу зі збурюваннями, що накладаються.

Перший тип задач з моделювання:

відомо: x , y , z , F і обмеження

$$x_{i_n} \leq x_i \leq x_{i_v}, \quad (4.2)$$

де n – нижнє обмеження;

v – верхнє обмеження.

Це задачі аналізу.

Другий тип задач: задано x , y , z , F обмеження (4.2) і задана множина функціоналів якості $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ з відповідним обмеженням вигляду:

$$\beta_j \leq Q_k(z, x) < \alpha_j. \quad (4.3)$$

Якщо уже працюють функціонали якості при моделюванні, то йдеться про розв'язання задач *оптимізації*. Дуже часто в них критері-

ем якості виступає «зона працездатності об'єкта», яка описується нерівністю:

$$y_{i_n} \leq y_i \leq y_{i_b}, \quad (4.4)$$

тобто жорстко задаються обмеження по вихідних параметрах. Задачі оптимізації є багатоетапними, у результаті розв'язання яких в області допустимих рішень (4.2) знаходиться єдина точка, яка відповідатиме знайденій точці нерівності (4.3) при виконанні умови (4.4).

Третій тип задач: задано x, y, z , область допустимих значень вхідних параметрів (4.2). Визначити функцію F . Це задачі синтезу – найскладніший клас задач, які поділяються на два підкласи: структурний синтез і параметричний синтез.

До структурного синтезу належать задачі з вибору принципів функціонування об'єктів, від яких залежить структура і весь вибір технічного рішення.

При параметричному синтезі проводиться розрахунок окремих параметрів за певним F і обов'язково здійснюється ідентифікація математичної моделі об'єкта.

Синтез полягає в створенні опису всього об'єкта, його структури і взаємодії окремих його частин, а аналіз відповідає за певні властивості об'єкта і дослідження об'єкту і дослідженні його працездатності. Поняття синтезу й аналізу підпорядковуються поняттю включеності: аналіз входить до оптимізації, а оптимізація до синтезу, однократне виконання оптимізації вимагає багатократного виконання аналізу, а однократне виконання синтезу – багатократного рішення задачі оптимізації.

Оцінка математичних моделей здійснюється вимогами, що висуваються до них.

1. *Ступінь універсальності ММ* – характеризує застосовність математичної моделі до аналізу більш-менш численної групи багатотипних об'єктів. Цей критерій явища є гнучким і тому може бути не завжди присутній в оцінці математичної моделі.

2. *Точність ММ* – ступінь збігу значень параметрів реального об'єкта і тих самих параметрів моделі.

3. *Адекватність ММ* – здатність відображати властивості об'єкта з погрішністю не вище заданої.

4. *Економічність ММ* – характеризується витратами машинного часу і обсягом пам'яті обчислювальних засобів, необхідних для побудови математичної моделі.

У проектних процедурах, пов'язаних із функціональним аспектом проектування, як правило, використовуються ММ, що відображають закономірності процесів функціонування об'єктів. Такі моделі називають *функціональними*. Типова функціональна модель є системою рівнянь, що описують або електричні, теплові, механічні процеси, або процеси перетворення інформації. У той же час у процедурах, що належать до конструкторського аспекту проектування, переважає використання математичних моделей, що відображають тільки структурні властивості об'єкта, наприклад, його геометричну форму, розміри, взаємне розташування елементів у просторі. Такі моделі називають *структурними*. Структурні моделі частіше за все подають у вигляді графів, матриць інцидентів і суміжності, списків тощо.

Як правило, функціональні моделі є більш складними, оскільки в них відображаються також відомості про структуру об'єктів. Однак при розв'язанні багатьох задач конструювання використання складних функціональних моделей невиправданий, оскільки потрібні результати можуть бути одержані на основі більш простих структурних моделей. Функціональні моделі застосовують переважно на завершальних етапах верифікації описів об'єктів, заздалегідь синтезованих за допомогою структурних моделей.

Загальний вигляд функціональної моделі:

$$Y = F(X, Z, U, S, t), \quad (4.5)$$

де X – вхідні впливи;

Z – зовнішні впливи;

U – керувальні впливи;

t – параметр.

Якщо у загальний вигляд моделі входить вектор S – вектор просторових координат і всі параметри X , Z і U мають випадковий харак-

тер, то такі функціональні моделі називаються стохастичними. Якщо X, Y, Z змінюються за певними законами, то ми маємо справу з детермінованими моделями, або імовірнісними. Функціональні моделі можуть бути динамічними або статичними.

Види функціональних моделей

Розподілені моделі – моделі записуються у вигляді диференціальних рівнянь у частинних похідних

$$F\left(X, Z, U, Y, \frac{\partial U}{\partial S}, \frac{\partial^2 U}{\partial S^2}, \dots, t\right) = 0. \quad (4.6)$$

Ці моделі, як правило, описують динаміку проведення об'єкта в цілому, а саме ті процеси, які розподіляються в часі або просторі.

Приклади: рівняння теплопровідності – зв'язує зміну температури і в часі і в просторі, рівняння безперервності в гідродинаміці, коли необхідно промодельовувати поле швидкостей або тиск.

Зосереджені моделі – записуються у формі звичайних диференціальних рівнянь і використовуються для моделювання окремих підсистем об'єктів.

$$F\left(X, Z, U, Y, \frac{dy}{dt}, \dots, t\right) = 0, \quad (4.7)$$

їх окремий випадок – це рівняння в формі Коші

$$\frac{dy}{dt} = F(X, Z, U, Y, t). \quad (4.8)$$

Ці моделі використовуються для моделювання на макрорівні.

Наведені моделі використовують під час проектування окремих частин складних технічних об'єктів (наприклад, для моделювання редуктора в токарному верстаті або компресора у двигуні).

ММ у формі транцидентних або алгебричних рівнянь

$$\frac{dy}{dt} = 0, \quad (4.9)$$

тоді загальний вигляд

$$F(X, Z, U) = 0. \quad (4.10)$$

Ці моделі існують для аналізу моделей у статистиці, при цьому використовується теорія планування експерименту і модель набуває вигляду рівняння регресії.

ММ у формі *логічних рівнянь* використовуються для визначення співвідношень між двозначними величинами за допомогою Булевої алгебри (алгебра логіки). Це змінні, які можуть мати значення 1 або 0 (є чи ні).

ММ стохастичних процесів – це все процеси, які можна записати за допомогою ТМО (теорія масового обслуговування). Всі стохастичні моделі розв’язують задачі наявності черги або потоку, які підпорядковуються розподілу Пуассона:

$$P(X = k) = \frac{a^k}{k!} e^{-a}, \quad k = (\overline{0, n}), \quad a > 0. \quad (4.11)$$

Числові методи формування ММ – це методи ідентифікації для динамічних систем і для статистичних – метод планування експерименту.

4.3. Ідентифікація об’єкта

Ідентифікація об’єкта – побудова ММ за апріорними й апостеріорними даними для систем автоматичного управління будь-яким технічним об’єктом. Розрізняють структурну і параметричну ідентифікацію.

Структурна визначає структуру параметрів (теорія графів).

Параметрична – визначає параметри за умови чітко заданої структури ($y = L(X, Y, t)$, де L – параметр ідентифікації).

Значення ідентифікації за моделлю, що настроюється, полягає в порівнянні апріорної (y) й апостеріорної (\bar{y}) вихідної величини з метою отримання ε (величина розузгодження, тобто помилки $\varepsilon = y - \bar{y}$),

при цьому величина ε залежить від критерію ідентифікації і прагне до мінімуму. При отриманні ε алгоритм настройки змінює відповідні параметри моделі і видає нове апостеріорне значення вихідної величини. Процес ідентифікації має ітераційний характер (багаторазовий). Багаторазовість процесу залежить від критерію ідентифікації L . Найпоширенішими критеріями в даній моделі є такі:

– функціонал у вигляді інтеграла квадрата помилки $I = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt$,

цей критерій можна розглядати як інтеграл математичного сподівання помилки або величини розузгодження;

– інтегральний критерій

$$I = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt}{\int_0^{\infty} x^2(t) dt}, \quad (4.12)$$

тут помилку віднесено до інтеграла вхідного сигналу.

Частіше застосовується перший вид критерію.

Величина ε у критерії визначається розробником на основі евристичних методів і перший раз після визначення величини розузгодження проводиться її оцінка.

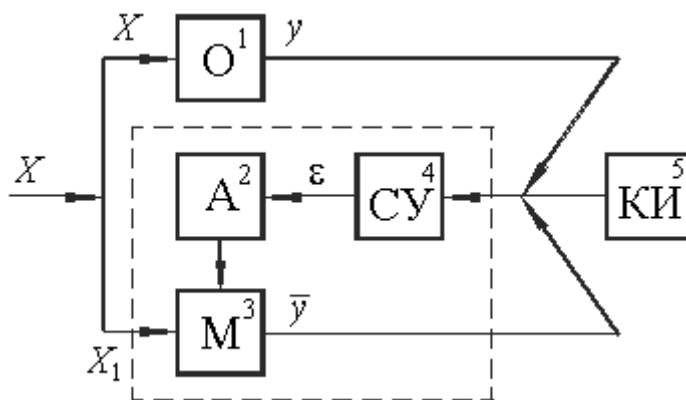


Рис. 4.2. Схема ідентифікації об'єкту: 1 – об'єкт ідентифікації; 2 – алгоритм настройки; 3 – модель, що наструюється; 4 – порівнюючий пристрій; 5 – критерій ідентифікації; 2 – 4 – 3 – робота ЕОМ; ε – величина розузгодження,

різниця між y та \bar{y} . Вона завжди прагне \min

Правило побудови операцій ідентифікації:

1) задаються математичні залежності між вхідними і вихідними змінними у статиці;

2) проводиться аналіз чинника апріорних й апостеріорних даних з метою відсівання неіснуючих змінних у цих залежностях. Під аналізом чинника розуміється визначення основних параметрів з x і z і проводиться наближена оцінка за точністю задавання цих параметрів;

3) проводиться експеримент з визначенням реакції системи на дію в часі;

4) будуються математичні залежності між вихідними і вхідними змінними в динаміці.

Структурна ідентифікація – спосіб моделювання та визначення оптимальної структури об'єкта за умови параметрів цієї моделі, що не змінюються, але з урахуванням заданого критерію.

Основним математичним інструментом є теорія графів, яка дає можливість графічно представити взаємозв'язок окремих основних частин, а також дозволяє розглянути перехід системи з одного стану в інший.

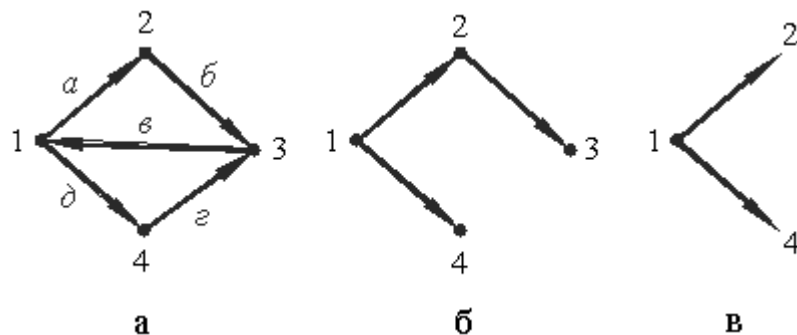


Рис. 4.3. Графи

Графом називається сукупність вершин і дуг, ідентичних цим вершинам. Якщо всі дуги графа мають напрямок, то такий граф називається орієнтованим (орграф) (рис. 4.3, а).

Граф, у якого відсутня певна кількість дуг (або ребер), але збережено ту саме кількість вершин, називається підграфом (рис. 4.3, б).

Підграф – це складова частина графа.

Суграф – частина графа, утворена видаленням з початкового графа деяких ребер і вершин (рис. 4.3, в).

Теорія графів існує для подання інформації, яка цілеспрямовано переходить від об'єкта до об'єкта або змінює свій вигляд у процесі переходу. Числове подання графа можливе за допомогою матриці ідентифікації. У цій матриці стовпцями є ребра, рядками – вершини. Заповнюється матриця ідентифікації за таким правилом: у точці перетину стовпця і рядка (-1) , якщо з цієї вершини відповідна хорда виходить і $(+1)$ якщо входить; решта клітинок A -матриці заповнюється «0» (нулями), при цьому якщо A -матриця містить нулі, то вона називається розрідженою, якщо нулів більше, ніж одиниць, то така матриця вважається сильно розрідженою, а граф, за яким вона побудована, – вважається неінформативним, оскільки не несе достатньої кількості інформації про об'єкт і його зв'язки.

	a	b	v	z	d
1	-1	0	+1	0	-1
2	+1	-1	0	0	0
3	0	+1	-1	+1	0
4	0	0	0	-1	+1

Якщо граф є графом станів або системи, або об'єкта поведінка якого змінюється з часом, то такий граф називають розміченим графом станів і за його допомогою досліджують структуру системи, обираючи при цьому оптимальну.

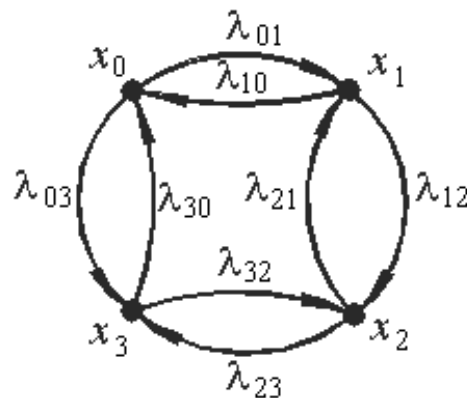


Рис. 4.4. Граф полягань

У графі станів (рис. 4.4) вершини – можливі стани системи, перехід з одного стану в інший позначається ребром з відповідною інтенсивністю переходу λ . Інтенсивності переходів розглядаються як інтенсивності потоків подій, які і переводять об’єкт з одного стану в інший, отже, тут працює теорія масового обслуговування (ТМО).

При складанні системи диференціальних рівнянь для вірогідності кожного стану системи P_0, P_1, P_2 і P_3 використовують таке правило: похідна за часом перебування системи в стані X_i дорівнюють алгебричній сумі здобутків інтенсивностей переходів λ_{ij} на відповідну вірогідність P_i , при цьому якщо ребро входить в стан X_i , то цей співмножник береться зі знаком «+», якщо виходить зі стану X_i – зі знаком «-».

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_0}{dt} &= \lambda_{10} \cdot P_1 + \lambda_{30} \cdot P_3 - (\lambda_{01} + \lambda_{03}) \cdot P_0 \\ \frac{dP_1}{dt} &= \lambda_{01} \cdot P_0 + \lambda_{21} \cdot P_2 - (\lambda_{10} + \lambda_{12}) \cdot P_1 \\ \frac{dP_2}{dt} &= \lambda_{12} \cdot P_1 + \lambda_{32} \cdot P_3 - (\lambda_{21} + \lambda_{23}) \cdot P_2 \\ \frac{dP_3}{dt} &= \lambda_{23} \cdot P_2 + \lambda_{03} \cdot P_0 - (\lambda_{32} + \lambda_{30}) \cdot P_3 \end{aligned} \right\}. \quad (4.14)$$

Одержана система диференціальних рівнянь містить таку кількість рівнянь, скільки станів в даній системі, при цьому завжди повинна виконуватися умова нормування. Початковими даними для розв’язання задачі є вірогідності P_i , тобто вірогідність знаходження системи в кожному стані і інтенсивності переходу з одного стану в інший. Після складання рівнянь необхідно визначити характеристики системи, такі як середній час простою системи $t = 1/\lambda$ і середній час завантаження системи, залежно від того, який критерій обирається для оптимізації.

4.4. Система аналізу конструкції ДВЗ

Система аналізу (розрахунковий блок) призначена для дослідження властивостей конструкції, що розробляється, за різних зовнішніх впливах і змінах. Завдяки їй, уже на стадії проектування можна передбачити ступінь працездатності конструкції, виявити найбільш слабкі її ланки, розробити заходи щодо підвищення надійності роботи її окремих елементів і системи в цілому. Створення системи аналізу є найскладнішою задачею через індивідуальні особливості кожного об'єкта проектування, для опису роботи якого в експлуатаційних умовах необхідно чітко представляти процеси, що відбуваються в ньому. Для такої складної технічної системи, як ДВЗ, це можливо далеко не завжди навіть при сучасному достатньо високому рівні розвитку розрахункових методів математичної фізики, гідрогазодинаміки, тепломасообміну тощо. Так, дотепер слабо вивчені процеси, пов'язані з внутрішнім сумішеутворенням у камері згоряння дизеля, процеси згоряння палива тощо.

Таким чином, від точності роботи системи аналізу залежить надійність прогнозу поведінки системи (в даному випадку ДВЗ) і, отже, ефективність САПР ДВЗ.

Система аналізу конструкції ДВЗ є впорядкованою інформаційно-взаємопов'язаною сукупністю математичних моделей робочих процесів в окремих вузлах і агрегатах двигуна. До складу цієї системи входять такі основні блоки.

1. Керувальна програма, що забезпечує можливість повного розрахунку всієї конструкції. Ця програма, що є головною, визначає взаємозв'язки елементів системи, проводить їх інформаційне стикування. У програмі передбачається введення і контроль усіх початкових даних, визначення ресурсів для запиту на ЕОМ. Структура програми генерується під час постановки САПР і надалі піддається незначним змінам. Програма забезпечує зв'язок конструктора з ЕОМ і зв'язок системи аналізу з рештою функціональних елементів САПР. Одна з важливих функцій даної програми – захист внутрішніх блоків системи від випадкового руйнування або стороннього втручання, а також виведення інформації, одержаної в результаті розрахунку конструкції, і її попередній аналіз.

2. Проблемно-орієнтовані блоки, призначені для розрахунків окремих елементів конструкції двигуна. Ці блоки, що несуть основне навантаження у процесі функціонування системи аналізу конструкції, складають основу її змісту. Окремі блоки повинні живитися інформацією від керувальної програми, вона їх підключає до роботи і управляє ними. Блоки генеруються на стадії розробки системи, але на відміну від керувальної програми мають менш стаціонарну структуру, в них можна вносити зміни у міру розвитку наших уявлень про описувані явища і застосовувані розрахункові методи. Уточнення в систему вносять розробники САПР, користувачі ж до них доступу не мають. Виведення інформації, одержаної в результаті роботи блоків, здійснюється керувальною програмою. У самих блоках повинне бути передбачене виведення лише контрольної інформації, яка дозволяє судити про правильність їх функціонування, причому тільки за відповідним запитом.

3. Програми, що керують роботою проблемно-орієнтованих блоків за завданням користувача. Ці програми мають допоміжний характер і утворюють з проблемно-орієнтованих блоків розрахункові структури (незалежно від головної керувальної програми) у разі потреби перерахунку окремих елементів конструкції двигуна. Включення програм до загальної структури системи аналізу конструкції спричиняється двома обставинами. По-перше, відсутністю 100%-ї точності розрахунків у зв'язку з недосконалістю методик і можливістю помилок у вхідній інформації, внаслідок чого може бути потрібний прискорений перерахунок окремих елементів з певними корективами, введеними конструктором. Якщо при цьому не потрібен повний аналіз всього двигуна, то в цілях економії часу і ресурсів доцільно повторити розрахунок за усіченою схемою. По-друге, ці програми використовують під час доведення й налагодження нових проблемно-орієнтованих блоків, що включаються до загальної структури системи. За їх допомогою проводиться контроль і тестування нових блоків.

4. Пакет прикладних загальнонаукових програм, що реалізують методи розв'язання задач різного типу, які виникають під час роботи проблемно-орієнтованих блоків. До цього пакета повинні бути включені стандартні процедури, що реалізують:

- розв’язання систем нелінійних диференціальних рівнянь великої розмірності;
- розв’язання систем алгебричних рівнянь великої розмірності для різних типів початкової матриці системи;
- комплекс програм з розв’язання задач теплопровідності МКЕ;
- розв’язання задачі термопружності і термопружнопластичності МКЕ або МГР;
- інтерполяцію за допомогою поліномів різного вигляду;
- статистичну обробку даних експерименту.

Склад вказаного пакета може бути розширений у міру розвитку розрахункових методів моделювання процесів у ДВЗ. Він також повинен мати характер «чорного ящика» і бути закладений під час генерації всієї системи. Вхід і вихід з цих програм необхідно максимально уніфікувати, з тим щоб одну і ту саме програму можна було багато разів використовувати розв’язуючи різні задачі окремими проблемно-орієнтованими блоками. У зв’язку із цим при програмній реалізації проблемних блоків їх структуру слід будувати з урахуванням загальнонаукових програм.

6. Стандартні програми планування й обробки результатів експерименту, призначені для обробки даних, одержаних в ході довідних робіт. До них можна віднести програми обробки індикаторних діаграм, розв’язання зворотної задачі теплопровідності для визначення граничних умов теплообміну на різних поверхнях за даними термометрування деталей тощо.

Як впливає з опису системи аналізу конструкції, основними є проблемно-орієнтовані блоки, призначені для моделювання роботи систем та агрегатів двигуна. Під час їх розробки висувуються вимоги забезпечити необхідні точність, економічність і достовірність методів розрахунків, закладених в їх основу. Розглянемо детально ці вимоги.

Про точність методу частіше за все судять за наслідками порівняння даних розрахунку й експерименту, причому вважається, що експериментальні основи дають уявлення про точне значення вимірюваної (тієї, що розраховується) величини з певною заданою погрішністю. Якщо розрахункове значення потрапить в поле довірчого інтервалу вимірюваної величини, то таке значення можна прийняти точним.

Конкретна цифра максимального відхилення повинна визначатися виходячи з відхилення розрахункового значення від математичного сподівання вимірюваної величини. Слід зазначити, що сучасні розрахункові методи дозволяють одержати будь-яку точність результатів при забезпеченні ЕОМ необмеженими ресурсами. Тому, коли йдеться про необхідну точність розрахунку, рекомендується керуватися двома основними правилами: перше – точність розрахункового методу повинна бути не вище точності вимірювання величини, що розраховується, інакше підвищення точності буде недоказовим; друге – прагнути знайти компроміс між точністю й економічністю методу. Критерієм економічності можуть служити витрати на машинний час, пам'ять і на початкову підготовку даних для розрахунку. Як буде показано нижче, в повну систему розрахунку ДВЗ доводиться об'єднувати до 30–35 окремих розрахункових проблемно-орієнтованих блоків. Якщо припустити, що кожному з них будуть потрібні витрати машинного часу ЕОМ типу ЕС-1033 або ЕС-1035 не більше 50–60 хв., то навіть за відсутності оптимізації конструкції розрахунок одного варіанта може бути виконаний за 20–30 год. У разі оптимізації конструкції двигуна цей час, безумовно, зростає. Для зниження витрат часу можна застосовувати більш швидкодійну ЕОМ або досягати того саме за допомогою зниження точності одержуваних результатів. Однак другий шлях слід використовувати обережно. Існує ще одна можливість підвищення економічності розрахункових методик: у загальній системі аналізу конструкції передбачають різні математичні моделі, що мають різні ступені точності і, відповідно, економічність. Це дозволяє одержувати саме ту точність, яка необхідна при даному розрахунку. Наприклад, при моделюванні робочого процесу в циліндрі ДВЗ враховують теплообмін між робочим тілом і стінками камери згоряння. У даному випадку помилка і визначення коефіцієнта тепловіддачі 40–50% не призводить до значної похибки розрахунку параметрів робочого тіла в камері згоряння, але у цьому випадку можна застосовувати наближені залежності, що не вимагають для реалізації машинних ресурсів, проте значення коефіцієнта тепловіддачі від робочого тіла повністю визначає епюру теплового навантаження елементів ЦПГ і впливає на температурний і теплонапружений стан деталей ЦПГ. У результаті, як буде показано нижче, розв'язуючи дану задачу, необхідні більш точні

локальні коефіцієнти тепловіддачі. Ця методика є значно складнішою за визначення інтенсивності теплообміну при моделюванні робочого циклу і вимагає великих витрат ресурсів ЕОМ.

Достовірність – основна вимога до розрахункових методик, що використовуються у розрахунковому блоці САПР. Ступінь достовірності визначається різними методами. Першим і основним є зіставлення розрахункових результатів з експериментальними, причому бажано, щоб воно (щоб уникнути елементів випадковості) було виконано на різних режимах роботи системи і, якщо можливо, при різних конструктивних виконаннях. Тоді збіг результатів експерименту і розрахунків у всьому діапазоні досліджуваних параметрів краще за все доведе достовірність вживаного розрахункового методу. Проте далеко не завжди можливим є пряме вимірювання досліджуваного параметра. У цьому випадку можна скористатися зіставленням розрахункових величин з даними опосередкованого вимірювання досліджуваного параметра. Для цього застосовують певні залежності для перерахунку вимірюваної величини. При побудові вказаних залежностей потрібне апріорне уявлення про механізм процесу, який вивчається, що, безумовно, вносить певний елемент суб'єктивізму в одержувані результати і певним чином знижує їх достовірність. Нарешті, у випадку повної відсутності даних експериментальних вимірювань, як прямих, так і непрямих, проводиться порівняння досліджуваних параметрів, одержаних в результаті розрахунку за різними методиками. Відсутність значних якісних і кількісних відмінностей між ними також служить підставою для встановлення достовірності моделі.

Одночасне застосування різних методів опису фізичних процесів – емпіричного, аналітичного і числового – обумовлене тим, що в загальній структурі розрахункового блока САПР повинні знаходитися математичні моделі різного рівня, що мають великий спектр за економічністю і точністю.

Моделі першого типу – емпіричні або статичні – це результати обробки експериментальних досліджень спеціальними математичними методами. Моделі такого роду дають кількісний зв'язок між вимірюваними параметрами. Вигляд запису рівнянь регресії, що складають основу цього методу, такий:

$$y = \alpha x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} \dots x_n^{\beta_n}, \quad (4.15)$$

де y – шуканий параметр;

x – вимірювані параметри;

α, β_n – емпіричні коефіцієнти.

Щоб виключити вплив розмірності параметрів, необхідно зробити безрозмірними одержувані коефіцієнти β_n . Вимірювані величини переважно брати в безрозмірному вигляді, відносячи їх до певного базисного режиму або варіанта виконання конструкції.

Очевидно, що подібний підхід має багато недоліків. По-перше, такі моделі малоінформативні, оскільки дають тільки кількісну картину впливу вимірюваних величин на досліджуваний процес. Фізичну природу процесу за цими результатами виявити досить складно. По-друге, регресійні залежності, одержані за наслідками випробувань на двигунах одного типу, дуже умовно можуть бути поширені на двигуни інших типів і, більше того, на інші конструктивні варіанти виконання навіть початкового ДВЗ. По-третє, оскільки в регресійну залежність для її побудови включаються тільки незалежні параметри, то до їх вибору висуваються жорсткі вимоги. Частіше за все при дослідженні такої складної системи, як ДВЗ, ці вимоги задовольнити не вдається. Тому у вказаних залежностях має місце елемент кореляції між параметрами, що затемняє дійсну картину явища. Крім того, на точність моделей емпіричного вигляду впливає погрішність вимірюваних величин. Проте залежності подібного роду застосовуються і можуть бути включені до системи розрахунку ДВЗ, включену в САПР. Причини цього такі.

1. Для побудови будь-якої теорії процесу і його опису з аналітичної точки зору потрібен попередній, величезний за обсягом аналіз експериментальних даних. У цьому аналізі можуть допомогти моделі даного вигляду. Крім того, використовуючи широкий експериментальний аналіз процесів, можна вибрати відправні точки при побудові фізичного опису явища. Наприклад, близький до квадратичного характер залежності потужності механічних втрат від частоти обертання колінчастого вала дав підставу припустити існування гідродинамічного режиму тертя у сполученнях двигуна. Інший яскравий приклад – відомі

формули Вібе і динаміка тепловиділення з двома максимумами швидкості, що описує процеси вигорання палива в гомогенному і гетерогенному середовищах. Ці залежності були одержані після осмислення результатів обробки індикаторних діаграм двигуна, тобто чисто емпіричним шляхом. Проте і та, і інша залежності мають певний фізичний зміст, що ґрунтується на уявленнях про механізми згорання горючої суміші в різних типах ДВЗ. Подібне створює певні передумови для подальшого розвитку теорії ДВЗ, який полягає в побудові вже аналітичних моделей описуваних явищ на певній початковій базі.

2. Ще далеко не всі процеси, що відбуваються у ДВЗ, особливо в його ЦПГ, до кінця є зрозумілими і вивченими, тому даний спосіб моделювання поки є єдиним, який дає якийсь прийнятний результат.

3. У загальному розрахунку всієї системи ДВЗ має місце ряд допоміжних розрахунків різних агрегатів і систем, що включають стаціонарну структуру і працюють на стабільних режимах. Режими певним чином залежать від роботи самого двигуна і його конструктивних особливостей. До таких розрахунків належить аналіз роботи різних навісних агрегатів, за винятком, можливо, системи повітропостачання. Розрахунки недоцільно проводити за допомогою неекономічних моделей підвищеної точності, оскільки це, не даючи істотного виграшу в точності всього розрахунку, призводить до зростання витрат на розрахунок. У таких умовах найбільш раціонально використовувати прості емпіричні залежності, що не вимагають великих витрат ресурсів ЕОМ.

4. Регресійні залежності, одержані шляхом відповідної обробки результатів роботи самої системи аналізу конструкції, включеної до САПР ДВЗ, є основою для подальшої оптимізації конструкції.

Проте, в даний час питома вага подібного роду моделей усе більше скорочується.

Іншим, більш високим типом вживаних в системі САПР моделей є аналітичні моделі. Вони будуються на підставі спрощеного уявлення про фізичні процеси, що протікають у ДВЗ. Для побудови таких залежностей необхідно чітко з'ясувати фізику самого явища, ввести обґрунтовані допущення, спростити початкові рівняння, щоб розв'язати їх можна було аналітичними методами. Очевидно, що чим більше прийнято допущень, тим простіше розв'язати задачу, проте ступінь

точності одержуваних результатів знижується. Тому для побудови аналітичних моделей слід дотримуватися компромісного принципу між точністю одержуваних результатів та економічністю методу. При цьому необхідно враховувати наступне. Якщо в результаті виконаного розрахунку одержувану інформацію можна використовувати для подальших розрахунків, то з метою мінімізації помилки, що вноситься на стадії задавання початкових даних для подальших блоків, первинний розрахунок повинен бути виконаний з максимальним ступенем точності. Наприклад, задавання індикаторної діаграми двигуна необхідно здійснювати з максимально можливим ступенем точності, оскільки саме цей параметр визначає функціонування більшості життєво важливих елементів ДВЗ, і похибка в його задаванні може призвести до неприпустимого зростання помилки на подальших етапах розрахунку. Дані ж, припустимо, по втратах на тертя, що є вихідною інформацією системи, можуть бути одержані і з меншим ступенем точності.

Аналітичні математичні моделі стоять на порядок вище емпіричних. Це пояснюється тим, що аналітичні моделі меншою мірою залежать від експерименту, необхідного на стадії вироблення моделі для отримання початкової інформації та остаточної перевірки аналітичних співвідношень. Крім того, моделі такого типу не є залежними від певної експериментальної установки і мають велику спільність, принаймні, для двигунів того класу, для якого обрано початкову систему дозволяючих співвідношень. У той же час добре складена математична модель часто дозволяє углядіти деякі особливості фізики досліджуваного процесу, які залишилися поза увагою під час експерименту. Так, математичне моделювання процесів, що відбуваються в тонкому змащувальному шарі під поршневым кільцем, дозволило виявити природу радіальної вібрації поршневих коліс. Подальша експериментальна перевірка підтвердила висунуту гіпотезу.

Не зважаючи на всі переваги, аналітичні моделі мають певні недоліки. Головний недолік – основні рівняння математичної фізики, якими описуються всі процеси у ДВЗ, мають аналітичний розв'язок тільки для вузького класу задач, причому в достатньо простих межах області. Але більшість задач, пов'язаних із розрахунками ДВЗ, такими не є. У результаті доводиться вводити ряд спрощень моделі, що зреш-

тою може привести до певної втрати точності методу. Це знижує універсальність й обмежує коло задач, розв'язок яких можна одержати аналітично. Проте в даний час у розрахунковій практиці моделі такого роду широко розповсюджені.

Нарешті, останніми методами, необхідними в системі аналізу конструкції, є числові. Їх розвиток разом із широким упровадженням ЕОМ у практику прикладних розрахунків зробив революцію в методах конструювання технічних систем. Саме завдяки наступному прогресу числових методів аналізу процесів і систем стало можливим вести мову про створення систем автоматизованого проектування.

Серед розглянутих методів слід виділити три основні: кінцевих різниць (МКР), кінцевих елементів (МКЕ) й інтегральних граничних рівнянь (МГР). Ці методи є дискретними, тобто розв'язок шукається не на всій області у вигляді безперервних функцій, а у ряді наперед заданих точок. Ступінь точності методів визначається кількістю цих точок і порядком апроксимуючих поліномів. Наприклад, для МКЕ точність розрахунку температурного стану деталей простої форми може наближатися до 100 % за умови точного задавання граничних умов. Дуже важливим є достоїнство цих методів – повна індіферентність до типу даної області, контуру її меж, ізотропії або анізотропії її властивостей, типу граничних умов. Наближені числові методи дозволяють розв'язувати велике коло задач, пов'язаних із розрахунками ДВЗ, – задачі теплопровідності, термопружності, гідродинаміки та газодинаміки у циліндрах і колекторах, гідродинаміки змащувального шару тощо.

Слід ще раз підкреслити, що в системі аналізу конструкції повинні бути присутні моделі всіх трьох типів – і емпіричні, і аналітичні, і числові. Тільки це дозволить реалізувати дану систему з максимальним ступенем гнучкості та високою ефективністю.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення МО САПР та його основні функції.
2. Назвіть основні способи моделювання.
3. Основні вимоги до математичних моделей.
4. Наведіть класифікацію ММ.

5. Загальний вигляд ММ і основні типи розв'язувальних задач.
6. Назвіть основні вимоги до ММ.
7. У чому полягає ідентифікація об'єкта? Яка різниця між структурною і параметричною ідентифікацією?
8. Для чого призначена система аналізу конструкції ДВЗ?
9. Які основні блоки входять до системи аналізу конструкції ДВЗ?
10. Які типи ММ застосовуються в системі аналізу конструкції ДВЗ?

Лекція 5

ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ (ТЗ) ПРОЕКТУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Призначення, принципи побудови і загальні вимоги до технічного забезпечення.

5.2. Технічні засоби САПР ДВЗ.

5.3. Обчислювальні мережі САПР.

5.4. Автоматизовані робочі місця (АРМ) САПР ДВЗ.

5.1. Призначення, принципи побудови і загальні вимоги до технічного забезпечення

Технічне забезпечення САПР спільно з програмним забезпеченням (ПЗ) є інструментальною базою САПР, в середовищі якої реалізуються інші види забезпечення САПР.

Компоненти технічного забезпечення САПР включають засоби обчислювальної й організаційної техніки, засоби передачі даних, вимірювальні та інші пристрої або їх поєднання, що забезпечують функціонування САПР. Сукупність компонентів ТЗ утворює комплекс технічних засобів САПР.

Основними принципами побудови є:

- розташування технічних засобів безпосередньо на робочих місцях розробників;

- висока точність і швидкість обчислень, а також введення і виведення інформації;

- сумісність з іншими обчислювальними засобами, необхідними для розв'язання поставлених задач;

- видача результатів розробок у вигляді, передбаченому ГОСТами.

Компоненти ТЗ створюються на базі серійних засобів обчислювальної техніки загального призначення і спеціалізованих технічних засобів. В даний час переважно використовують дворівневу ієрархічну структуру комплексу технічних засобів САПР. Структура включає компоненти центрального обчислювального комплексу (ЦОК) і компоненти термінального комплексу (ТК). ЦОК будують на основі ЕОМ,

обчислювальних систем і мереж ЕОМ колективного користування. Термінальний комплекс САПР будують на основі автоматизованих робочих місць (АРМ) термінальних станцій з використанням мікропроцесорів, міні- та мікро-ЕОМ.

Вимоги до технічного забезпечення САПР поділяються на чотири категорії:

- системні;
- функціональні;
- технічні;
- організаційні-експлуатаційні.

Системні вимоги:

- ефективність (забезпечення ефективної та якісної роботи у певні терміни);
- універсальність (забезпечення змін у перебігу циклу проектування без перебудови КТС);
- сумісність (забезпечення технічної, інформаційної, програмної і експлуатаційної сумісності);
- гнучкість і відкритість (тобто допускати перебудову в достатньо широких межах і заміну або модернізацію застарілих засобів);
- надійність (достатня для всього циклу проектування, середнє напрацювання на відмову, середній термін служби, коефіцієнт технічного використання (ГОСТ 21552-84 тощо));
- точність (достовірність) (застосовують різні організаційні, технічні та програмні засоби контролю);
- захищеність від зовнішніх впливів (перешкод, збоїв в системі живлення);
- можливість одночасної роботи достатньо широкого кола користувачів;
- прийнятна вартість.

Функціональні вимоги:

- реалізація математичних моделей (об'єктів проектування, креслень та ін.);
- задачі ухвалення рішень і проектних процедур;
- архіви, бібліотеки проектних рішень;
- системи пошуку даних, забезпечення наочності інформації;

- робота з графічними зображеннями і моделями;
- паралельна робота окремих вузлів;
- взаємозв'язок етапів проектування;
- документування результатів проектування.

Технічні вимоги виробляють у процесі розробки комплексів засобів САПР і висувають до груп технічних засобів. Виражаються у вигляді кількісних, якісних і номенклатурних значень. До основних параметрів належать: продуктивність, швидкодія, пропускна здатність устаткування, розрядність та ін.

Організаційно-експлуатаційні вимоги:

- ергономіка і технічна естетика (ГОСТ 24750-81 та ін.);
- безпека персоналу;
- підготовка персоналу;
- централізоване технічне обслуговування;
- ремонтпригодність;
- кліматичні умови (тиск, температура, вологість);
- звукоізоляція;
- типове планування і розміщення.

5.2. Технічні засоби САПР ДВЗ

Вимоги до складу і структури технічних засобів формуються, виходячи із:

- загальних вимог до структури САПР;
- ефективного розв'язання виділеного класу задач проектування, активного включення користувача в процес проектування;
- можливість роботи з графічним матеріалом, включаючи процеси як введення й обробки, так і виведення інформації.

Класифікацію технічних засобів САПР проводять за двома ознаками: функціональною та структурною.

За функціональною ознакою виділяють такі групи технічних засобів.

1. Підготовки введення даних – призначені для автоматизації підготовки, введення, первинної обробки, редагування початкових даних.

Технічні засоби підготовки введення даних повинні забезпечити кодування інформації, нанесення на машинні носії, візуальний контроль і редагування.

Технічні засоби:

- пристрої підготовки на машинні носії (перфонові, магнітні носії, мікрофішери тощо);
- пристрої введення даних (перфонові, магнітні носії, мікрофішери та ін.);
- пристрої введення графічної інформації (графічні пристрої, діджитайзери, сканери);
- клавіатури (алфавітно-цифрові, функціональні, спеціальні, світлові, реалізовані на електронних дисплеях).

2. Передачі даних – для забезпечення дистанційного зв'язку засобів САПР по каналах зв'язку (телефонних, телеграфних тощо).

Технічні засоби:

- апаратура передачі даних (модеми, пристрої перетворення сигналів, пристрої захисту від помилок);
- апаратура сполучення і концентрації (пристрої сполучення, адаптери дистанційного зв'язку, мультиплексори, процесори телеобробки та ін.)

3. Програмної обробки даних – для прийому цифрових даних і їх програмної обробки, накопичення.

Технічні засоби:

- ЕОМ загального призначення (мікро-ЕОМ, ПК, малі, середні, великі ЕОМ);
- спеціалізовані ЕОМ і мікропроцесори.

4. Відображення і документування даних – для оперативного подання проектних рішень і даних, що запитуються.

Технічні засоби:

- пристрої візуального відображення інформації (алфавітно-цифрові і графічні дисплеї, панелі і табло відображення інформації, мнемосхеми);
- пристрої виведення на папір (АЦПУ, графічні пристрої, реєструвальні пристрої);
- пристрої виведення інформації на мікрофільми і мікрофішери;

- пристрої введення на машинні носії (перфоносії та магнітні носії);
- пристрої введення спеціального призначення (координатографи, фотонабірні пристрої).

5. Архіви проектних рішень – для зберігання, контролю, відновлення, розмноження.

Технічні засоби:

- автоматизований доступ до мікрофільмування, мікрошифрування, розмноження.

За структурною ознакою розглядають комплекси засобів САПР.

Під комплексом засобів розуміють сукупність компонентів або комплексів засобів, призначених для тиражування, й орієнтовану на проектування об'єктів певного класу (вигляду, типу) і виконання уніфікованих процедур.

Різні комплекси засобів одного виду (інформаційного, технічного) і комбіновані (містять компоненти різних видів забезпечення).

Найбільшого поширення набули комбіновані ПМК і ПТК.

ПМК (програмно-методичний комплекс) включає компоненти методичного, інформаційного і програмного забезпечення і призначені для реалізації проектних, управлінських і допоміжних процедур САПР.

ПТК (програмно-технічний комплекс) являє взаємну сукупність ПМК із комплексом технічного забезпечення.

Логічну структуру технічних засобів САПР приведено на рис. 5.1.

Технічні засоби САПР з'єднані в групи взаємодіючого устаткування. Серед цих груп виділяють групи базової конфігурації. Базова конфігурація – це мінімальний склад, що дозволяє розв'язувати задачі певного класу.

Існує ряд вимог, які необхідно враховувати, розробляючи базові конфігурації: уніфікація проектних рішень; побудова системи, що розвивається, яка передбачає нарощування і вдосконалення компонентів технічних засобів; фізична сумісність, що передбачає сумісне функціонування усіх компонентів комплексу; модульність конфігурації, яка вимагає, щоб компоненти системи були універсальними і типовими; мінімізація вартості; узгодженість основних параметрів компонентів системи.

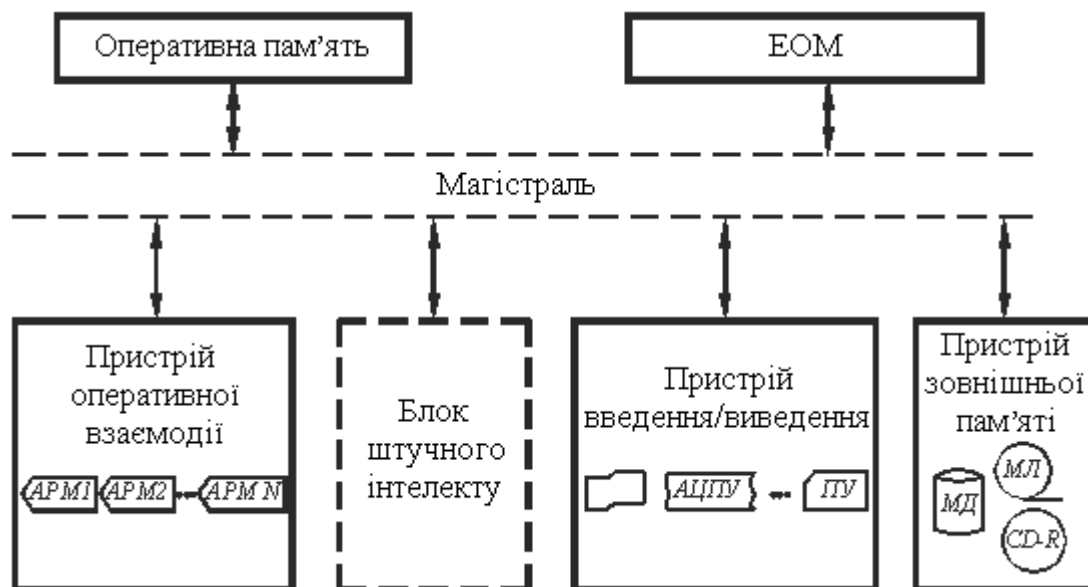


Рис. 5.1. Логічна структура технічних засобів САПР

5.3. Обчислювальні мережі САПР

Еволюція розвитку комплексу технічних засобів САПР характеризується створенням територіально розосереджених багатомашинних систем збору, зберігання й обробки інформації, реалізованої у вигляді обчислювальних мереж.

Обчислювальні мережі технічних засобів є зв'язком для забезпечення взаємозв'язку між проектувальниками, які працюють над однією задачею, але на різних терміналах. Існують два основні види мереж:

- розширені (глобальні) – призначені для з'єднання терміналів віддалених один від одного на відстані більше 1000 км;
- локальні обчислювальні мережі (ЛОМ) – такі, що розосереджені на невеликих територіях підприємств і об'єднують в єдину інформаційну систему автоматизовані робочі місця (АРМ) користувачів, ЕОМ і мікро-ЕОМ, графічні пристрої, термінальні станції та ін. спеціалізовану апаратуру.

Основне призначення ЛОМ – розподіл ресурсів ЕОМ (програм, сукупності периферійних пристроїв, терміналів, пам'яті) для ефективного розв'язання задач автоматизованого проектування.

Локальні обчислювальні мережі класифікують:

1) за топологічними ознаками – ієрархічна, кільцева і зіркоподібна конфігурація, конфігурація типу «загальна шина»;

2) за методами управління ресурсами середовища передачі даних – з детермінованим і випадковим доступом до моноканалу;

3) за програмним забезпеченням – з єдиною операційною підтримкою і єдиними методами теледоступа, орієнтованими на конкретну ЛОМ і ЛОМ з різними наборами тих чи інших компонентів операційної підтримки;

4) за методом передачі даних – мережі з комутацією каналів, з комутацією повідомлень і комутацією пакетів, причому в сучасних ЛОМ характерним є використання комутації пакетів;

5) за технічним забезпеченням – гомогенні та гетерогенні ЛОМ. Перші передбачають вживання у станціях однотипного устаткування, наприклад, тільки комплекси машинної графіки. Другі дають можливість підключення будь-яких абонентних комплексів – від пристроїв видачі конструкторської документації до високопродуктивних обчислювальних комплексів з розвинутою термінальною мережею.

Слід зазначити, що структура і склад технічних засобів, що входять до ЛОМ підприємства, цілком залежать від номенклатури задач автоматизованого проектування, інтенсивності надходження і трудомісткості їх рішення.

Типи з'єднань у ЛОМ:

1) з'єднання типу «зірка» (рис. 5.2);

2) з'єднання типу «шина» (рис. 5.3);

3) з'єднання типу «кільце» (рис. 5.4).

З'єднання «зірка» має певні переваги:

– існує можливість підключення будь-якої кількості абонентних пунктів (АП), обмеженої тільки обсягом пам'яті ЦВК;

– при виході з ладу будь-кого АП працездатність всієї мережі не змінюється, оскільки передача повідомлень від одного терміналу проєктувальника (ТП) до іншого відбувається через ЦВК.

Але є істотний недолік – висока вартість ЦВК.

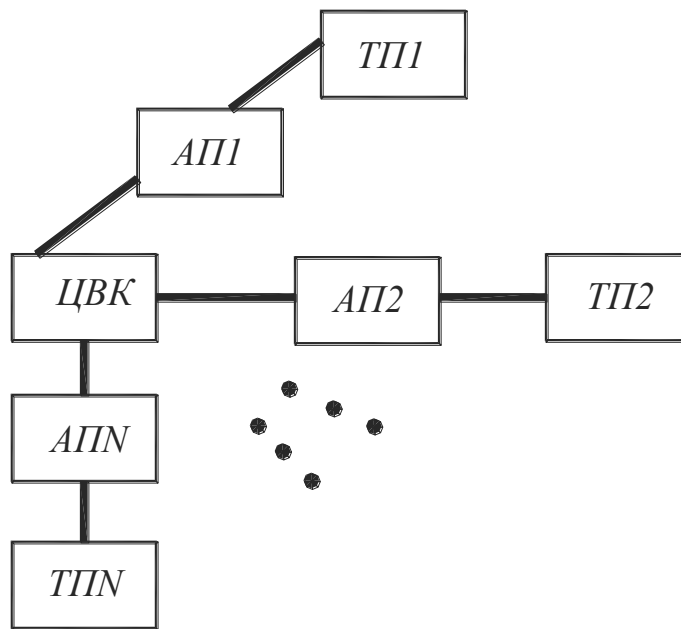


Рис. 5.2. З'єднання типу «зірка»

АП зв'язані між собою фізичними носіями інформації (телефонний кабель, який використовується, коли швидкодія не повинна перевищувати 50 біт/с, але якщо швидкодія ЛОМ повинна досягати 100 байт/с, то використовуються коаксіальні кабелі).

Перевагою є здійснення передачі повідомлень від адресата до абонента тільки за сформульованою адресою. Недоліком є проходження одного і того саме повідомлення від адресата до одержувача через проміжні АП, вихід з ладу АП частково виводить з ладу ЛОМ.

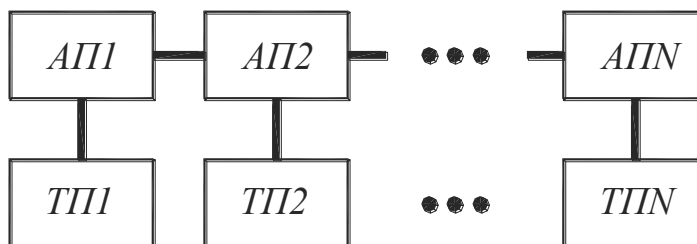


Рис. 5.3. З'єднання типу «шина»

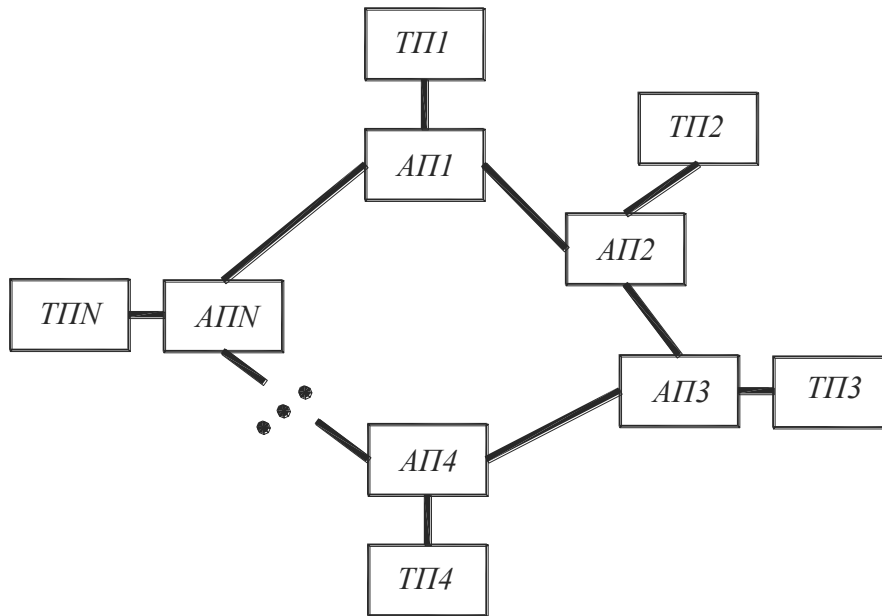


Рис. 5.4. З'єднання типу «кільце»

При такому з'єднанні вихід з ладу будь-кого АП призводить до втрати працездатності системи в одному напрямку, оскільки всі АП зв'язано між собою і завжди обов'язково замикають коло.

Передача повідомлень у даному з'єднанні проводиться від адресата до одержувача за маршрутом, вказаним адресатом.

«Кільце» – найпоширеніший тип з'єднання у ЛОМ, він дозволяє нарощувати вузли обчислювальних мереж і підтримувати необхідну працездатність ЛОМ.

5.4. Автоматизовані робітники місця (АРМ) САПР ДВЗ

Одним із основних компонентів базової конфігурації є автоматизоване робоче місце (АРМ) (рис. 5.5). Основою АРМ, які набули широкого розповсюдження на виробництві, є міні- і мікро-ЕОМ з відповідною периферією.

Сьогодні випускається декілька модифікацій АРМ, призначених для різних галузей промисловості. АРМ забезпечують:

- автоматичну розробку конструкторсько-технологічної документації;
- автоматичну роботу підрозділів стандартизації і метрології;
- автоматичне введення в архів.



Рис. 5.5. Структурна схема АРМ

Склад типових комплексів АРМ (на прикладі АРМ «Автограф-840»):

- мікро-ЕОМ «СМ 1810»;
- растровий графічний відеотермінал;
- пристрій отримання твердої копії екрану;
- растровий друкувальний пристрій графіки і тексту;
- мініпланшет;
- графопобудовник формату А3;
- графопобудовник формату А0;
- контролер ЛОМ «Естафета» (підключається до локальної обчислювальної мережі).

Основним елементом АРМ є ПЕОМ, структурну схему якого приведено на рис. 5.6.

ПЕОМ – новий клас машин, з'єднаний ознакою орієнтації на індивідуальне використання професіоналами. Структура ПЕОМ є уніфікованою для всіх типів машин і відрізняється тільки об'ємом пам'яті і набором периферійних пристроїв від яких залежить кількість процесорів уведення-виведення. Основна вимога до структури ПЕВМ використовується в САПР – максимальний об'єм ПЗП і достатньо простий доступ до накопичувачів на магнітних дисках (вінчестерам).

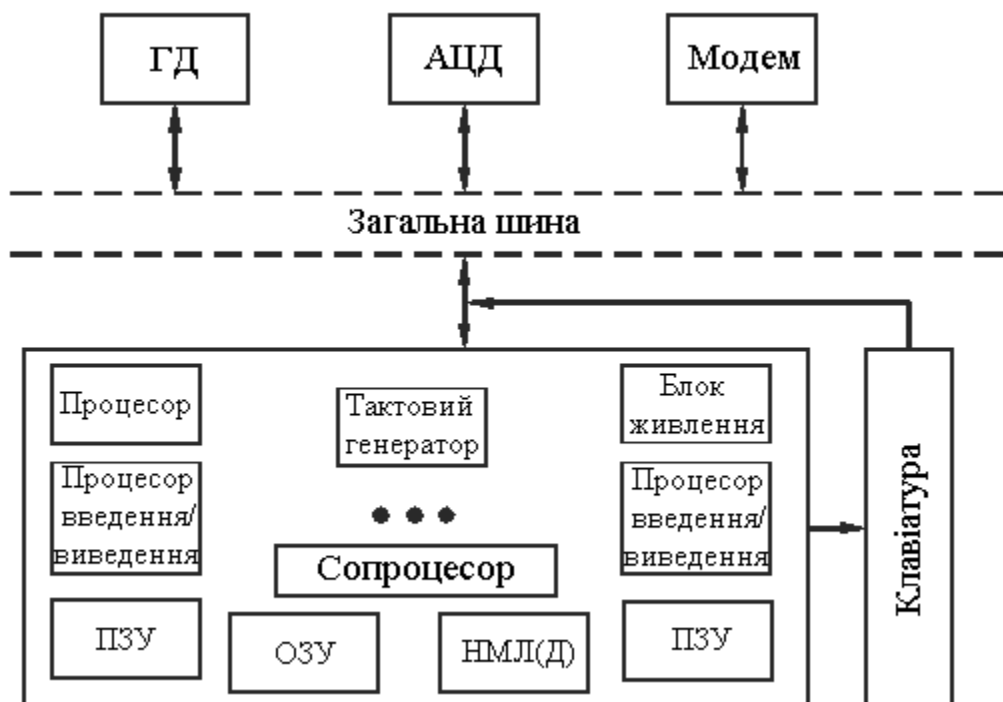


Рис. 5.6. Структурна схема ПЕОМ

Типовий склад ПЕОМ:

Микро-ЭВМ	– процессор 8-16-32 разрядный, ОЗУ
Клавиатура	– бесконтактная
Дисплей	– цветной, графический
Устройство внешней памяти	– накопитель на гибком диске; – накопитель на жестком диске типа «Винчестер»
Устройство печати	– знаковосинтезирующее
Другие устройства	
Устройство машинной графики	– ввода: планшет, диджитайзер; – вывода: плоттер
Устройство связи	– модем, контроллер локальной сети

Режим роботи ПЕОМ

Залежно від складності розв'язуваних задач можна виділити такі режими роботи ПЕОМ:

1) однопрограмильний режим, за якого вирішуваним задачам доступні всі ресурси ЕОМ;

2) мультипрограмильний режим, за якого в пам'яті машини знаходяться одночасно декілька програм, готових до виконання. Цей режим забезпечується спеціалізованими апаратними засобами й операційною системою (ОС). Він характерний для складних ЕОМ, де вартість роботи 1 машинної години практично збігається з вартістю ЕОМ;

3) режим пакетної обробки, при цьому задачам розташовуються у так звану чергу, з якої машина послідовно обирає програму для виконання;

4) режим колективного доступу – у даному режимі кожний користувач ставить свою задачу на виконання у довільний момент часу, при цьому машина ніби працює в режимі індивідуального користування, розв'язуючи саме ту задачу, яку їй пропонують, але строго визначений час. Досягається цей режим за допомогою квантування машинного часу, тобто весь час роботи процесора ділиться на кванти, в які він і розв'язує кожну задачу, квантування виконується самим процесором, тому часто такий режим ще називають режимом з розподілом часу. У такому режимі ЕОМ працюють, коли декілька користувачів мають одну машину і на технологічному процесі більше однієї машини ставити не можна;

5) режим реального часу – у такому режимі, як правило, ЕОМ працюють на технологічних процесах і включені в ланцюг управління усім технологічним процесом. У цьому режимі результати обчислень програм виводяться з машини з «миттєвою» швидкістю.

Основні тенденції розвитку САПР визначають переважний розвиток інтерактивних систем автоматизованого проектування. Центральне місце в таких системах займає діалог конструктор–ЕОМ. Організація діалогу забезпечується інформаційними, програмними і технічними засобами САПР.

При виборі технічних засобів САПР, що забезпечують інтерактивну взаємодію конструктора з процесом розв'язання, серед можливих альтернатив слід керуватися таким.

ЕОМ, що використовується, повинна дозволяти організувати роботу певного числа користувачів (тобто задовольняти вимоги продуктивності) в режимі розподілу часу.

Термінальне устаткування, що використовується, повинне відповідати ергономічним, естетичним вимогам і вимогам ефективності роботи.

До термінального устаткування можна віднести такі пристрої: пультову друкувальну машинку, телетайп, факс, алфавітно-цифровий і графічний дисплеї, акустичні пристрої.

Використання цих пристроїв обумовлене певним класом розв'язуваних задач у САПР. Сьогодні практично в усіх вживаннях стає економічно не вигідним використання телетайпів і терміналів з посимвольним введенням/виведенням інформації. Дисплеї зі сторінковою обробкою інформації дозволяють збільшити продуктивність роботи проектувальника.

Використання графічних дисплеїв іде у напрямку подання терміналів як автономних систем із спеціальними операційними системами управління роботою окремих апаратних і програмних компонент терміналу з основною ЕОМ.

У цілому тенденції розвитку терміналів можуть бути охарактеризовані як рух у бік багатофункціональних систем з розподіленою обробкою інформації.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення ТЗ САПР та його основних функцій.
2. Назвіть основні принципи побудови ТЗ.
3. Основні вимоги до ТЗ.
4. Наведіть класифікацію технічних засобів.
5. Призначення обчислювальних мереж.
6. Назвіть типи з'єднань ЛОМ.
7. Наведіть структурну схему АРМ.
8. Назвіть режими роботи ПЕОМ, їх основні відмінності.

Лекція 6

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

- 6.1. Призначення, класифікація й основні вимоги.
- 6.2. Принцип побудови БД САПР. СУБД. Мови опису БД.
- 6.3. Моделі даних у СУБД.
- 6.4. Організаційне і методичне забезпечення.

6.1. Призначення, класифікація й основні вимоги

Інформаційне забезпечення (ІЗ) САПР – сукупність відомостей (даних), необхідних для виконання автоматизованого проектування, представлених у заданій формі.

ІЗ САПР призначене для організації, використання і зберігання усіх відомостей (даних), необхідних для процесу проектування. Функції ІЗ реалізує інформаційна система САПР.

Компонентами ІЗ є документи, що містять опис стандартних проектних процедур, типових проектних рішень, а також файли і блоки на машинних носіях. Сукупність компонентів ІЗ утворює інформаційну базу даних САПР.

Дані – це відомості про певні факти, що дозволяють робити певні висновки. Взаємопов'язані дані часто називають системою даних, а збережені дані називають інформаційним фондом. Основне призначення ІЗ – надавати користувачам САПР достовірну інформацію у певному вигляді.

Об'єктом вважають будь-який предмет, подію, поняття тощо, про які наводяться дані. Усі об'єкти характеризуються *атрибутами*. Відомості, що містяться в кожному атрибуті, називають *значеннями даних*. Атрибути, за значеннями яких визначають значення інших атрибутів, називають *ідентифікаторами об'єкта*, або *ключовими елементами даних*.

Об'єднання значень пов'язаних атрибутів називають *записом даних*. Впорядковану сукупність записів даних називають *файлом*, або *набором даних*. Сьогодні існують універсальні підпрограми, що реалізують методи доступу до файлів, їх обробку й обслуговування.

Розглянемо класифікацію інформаційної БД САПР (рис. 6.1).

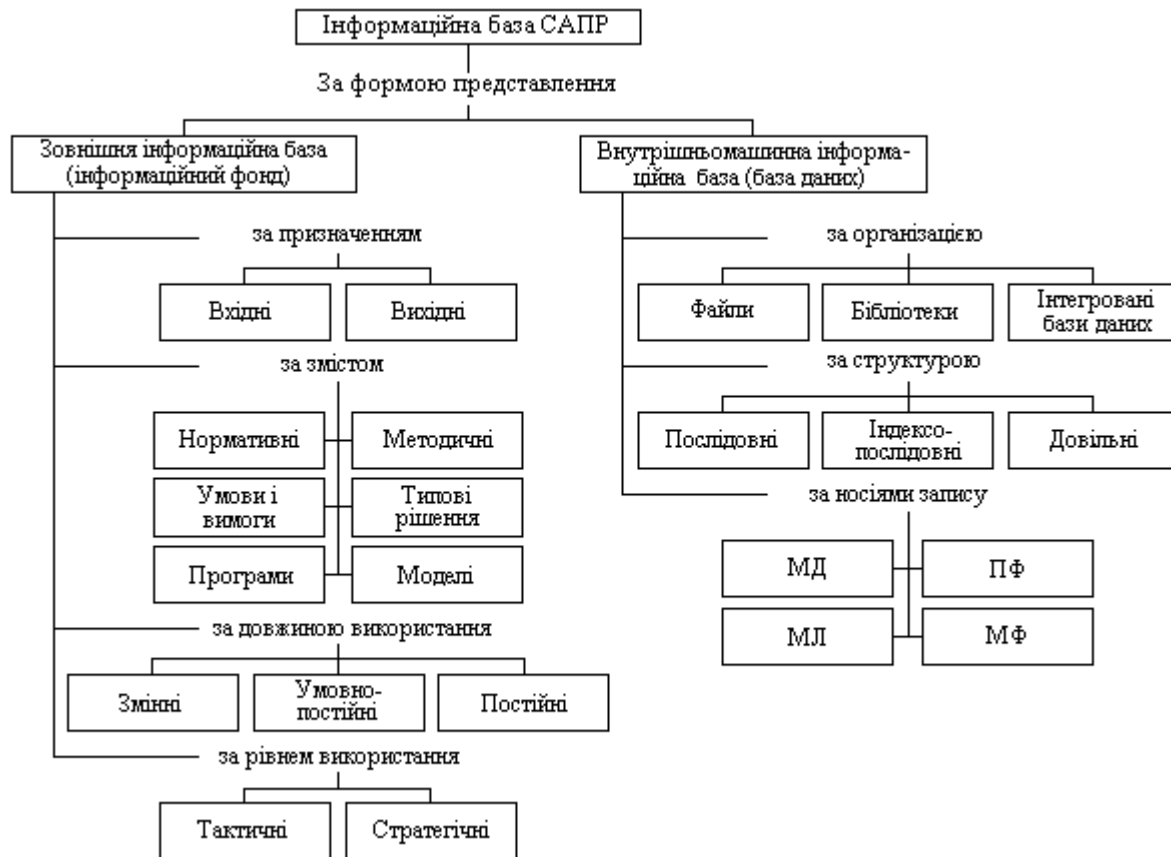


Рис. 6.1. Класифікація БД САПР

Інформаційний фонд (ІФ)

До складу ІФ входять текстові і графічні документи, класифікатори, довідники, кодифікатори тощо (картотеки, мікрофільми).

За призначенням.

Вхідними даними є дані для проведення проектних робіт:

- початкові (для проектування конкретного об'єкта (функції і характеристика об'єкта));
- нормативно-довідкові (стандарти, нормалі, математичні моделі та ін.).

Вихідні дані – дані, одержані в результаті функціонування САПР:

- ухвалені проектні рішення;
- проміжні проектні рішення;
- статистичні дані.

За змістом:

- нормативні (стандарти СЕВ, ГОСТи тощо);
- довідкові дані (довідники, каталоги, модифікатори, література, звіти та ін.);
- методичні дані (математичні методики, інструкції, спеціальні мови);
- моделі (математичні залежності, алгоритми);
- типові рішення (типові проекти, типові креслення, схеми);
- програми (поза машин зберігаються у вигляді текстів програм і програмної документації).

За тривалістю використання:

- змінні (для одного об'єкта);
- умовно-постійні (для групи об'єктів);
- постійні (для всієї області вживання).

За рівнем використання:

- стратегічні (для принципів рішень);
- тактичні (для конкретних проектних рішень).

База даних включає організовані дані ІФ, що зберігаються на машинних носіях.

Файл – це сукупність даних, що складаються з логічних записів, які відносяться до однієї теми.

Бібліотека – каталогізована сукупність інформаційних компонентів.

Інтегрована БД – сукупність взаємопов'язаних інформаційних компонентів (файлів, наборів даних) і опис структури і взаємозв'язку даних, що використовуються більше, ніж одним програмістом.

Існує багато адекватних і в той же час неформальних визначень бази даних. Найпоширенішими із них є такі. БД – це:

- сукупність спеціально організованих даних, розрахованих на використання у великій кількості прикладних програм;
- набір файлів, робота з якими забезпечується спеціальним пакетом прикладних програм – системою управління базою даних, – з метою створення масивів даних, їх оновлення й отримання довідок;
- сукупність даних, що відображає стан об'єктів та їх відносин у даній предметній області;
- сукупність усіх тих даних, які обробляються більше, ніж в одній програмі (модулі).

Основні вимоги до БД.

1. Цілісність даних – їх несуперечність і достовірність.
2. Організація БД повинна забезпечувати узгодження часу вибірки даних прикладними програмами з частотами їх використання прикладними програмами САПР.
3. Універсальність, тобто наявність у БД усіх необхідних даних і можливості доступу до них у процесі розв'язання проектної задачі.
4. Відкритість БД для внесення в неї нової інформації.
5. Наявність мов високого рівня взаємодії користувачів з БД.
6. Секретність, тобто неможливість несанкціонованого доступу до інформації та її змін.
7. Оптимізація організації БД – мінімізація надмірності даних.

6.2. Принцип побудови БД САПР. СУБД. Мови опису БД

Одним із принципів побудови САПР є інформаційна узгодженість частин її програмного забезпечення, тобто придатність результатів виконання однієї проектної процедури для використання іншою проектною процедурою без їх трудомісткого ручного перетворення користувачем. Звідси випливають такі умови інформаційної узгодженості:

– використання програмами однієї і тієї ж підсистеми САПР єдиної БД;

– використання єдиної внутрішньої мови для подання даних.

Комплексна автоматизація процесу проектування об'єкта припускає інформаційну узгодженість не тільки окремих програм підсистем САПР, але і самих підсистем між собою. Способом досягнення цієї узгодженості є єдність інформаційного забезпечення.

Основні способи інформаційного узгодження підсистем САПР досягаються або створенням єдиної БД, або сполученням декількох БД за допомогою спеціальних програм, які перекоднують інформацію, приводячи її до необхідного вигляду.

Частини програмного забезпечення (ПЗ) і методи, що здійснюють управління базою даних, утворюють систему управління базами даних (СУБД). На рис. 6.2 показано приклад використання СУБД і БД.

Система управління БД дозволяє отримати доступ до інтегрованих даних і допускає безліч різних уявлень про збережені дані. СУБД виступає як сукупність програмних засобів, призначених для створення, ведення і сумісного використання БД багатьма користувачами.

СУБД повинна забезпечувати:

- простоту фізичної реалізації БД;
- можливість централізованого і децентралізованого управління БД;
- мінімізацію надмірності збережуваних даних;
- надання користувачу по запитах несуперечливої інформації;
- простоту розробки, ведення і вдосконалення прикладних програм;
- виконання різних функцій.



Рис. 6.2. Приклад використання СУБД і БД для проектування

СУБД реалізує два інтерфейси:

- 1) між логічними структурами даних у програмах і в БД;
- 2) між логічною і фізичною структурами БД.

Інтерфейс припускає взаємодію (зв'язок) центрального процесора з будь-якими периферійними пристроями, тобто можна сказати, інтерфейс – метод доступу до різних пристроїв.

Розробка БД включає три етапи:

- організація роз'єданого фонду даних (характеризується для кожної програми своїм масивом даних);
- організація централізованого фонду даних (характеризується загальним масивом даних і керувальною програмою);
- організація інтегрованої бази даних – банку даних (характеризується об'єднанням в одну систему програмних засобів управління й опису даних).

Для опису даних використовуються спеціальні мови опису даних (МОД) і мови маніпулювання даними (ММД).

У загальному випадку МОД описує різні типи записів, їхні імена та формати, служить для визначення типів елементів даних, які потрібні як ключі; відносин між записами або їх частинами й іменування цих відносин; типу даних, які використовуються в записах; діапазону їх значень; кількості елементів, їх порядку і т.п.; секретності частин даних і режимів доступу до них.

Розрізняють три рівні абстракції для опису даних:

- концептуальний (з позиції адміністратора);
- реалізації (з позиції прикладного програміста і користувача);
- фізичний (з позиції системного програміста).

На концептуальному рівні описують об'єкти, атрибути і значення даних. На рівні реалізації мають справу із записами, елементами даних і зв'язками між записами. На фізичному рівні оперують блоками, покажчиками, даними переповнення, групуванням даних.

ММД зазвичай дають можливість маніпулювання даними без знання неістотних для програміста подробиць. Вони можуть реалізуватися як розширення мов програмування загального призначення шляхом введення в них спеціальних операторів або шляхом реалізації спеціальної мови (наприклад DL/1, ММД, CODASYL).

Важливим інструментом при розробці і проектуванні БД є словник даних (СД), призначений для зберігання відомостей про об'єкти, атрибути, значення даних, взаємозв'язки між ними, їх джерела, значення, формати уявлення. Словник даних дозволяє одержати одномаїтну і формалізовану інформацію про всі ресурси даних. Головне призначення СД полягає у документуванні даних. Він повинен забез-

печувати централізоване введення й управління даними, взаємодія між розробниками будь-якого проекту, наприклад, САПР. Існують інтегровані і незалежні СД. У першому випадку СД – це частина пакета програм СУБД, а у другому – окремий пакет програм у вигляді доповнення до СУБД.

6.3. Моделі даних в СУБД

Сучасні СУБД ґрунтуються на використанні моделей даних (МД), що дозволяють описувати об'єкти предметних областей і взаємозв'язку між ними. Існують три основні МД і їх комбінації, на яких ґрунтуються СУБД: реляційна модель даних, мережна модель даних, ієрархічна модель даних.

Основна відмінність між цими МД полягає в способах опису взаємодій між об'єктами й атрибутами. Взаємозв'язок виражає відношення між множиною даних. Використовують взаємозв'язки «один до одного», «один до багатьох» і «багато хто до багато кого». «Один до одного» – це взаємно однозначна відповідність, яка встановлюється між одним об'єктом і одним атрибутом. «Один до багатьох» – це відповідність між одним об'єктом і багатьма атрибутами. Взаємозв'язки між об'єктами й атрибутами зручно подавати у вигляді графів і гіперграфів.

Реляційна модель даних.

У реляційній моделі даних об'єкти і взаємозв'язки між ними подають у вигляді таблиць. Таблиця, що складається з рядків і стовпців, називається відношенням. Кожний стовпець у таблиці є атрибутом. Рядки таблиці є кортежами, тобто впорядкованими множинами. Значення в стовпці визначають з множини значень, які приймає атрибут. Стовпці таблиці – це елементи даних, а рядки – записи.

Наведемо приклад подання даних за допомогою таблиці КОРИСТУВАЧ (табл. 6.1).

Ця таблиця представляє дані за допомогою реляційної моделі. Первинним ключем є ідентифікаційний номер користувача. Таблиця має один атрибут і п'ять кортежів.

Таблиця 6.1 – Приклад подання даних

Ідентифікаційний номер	Прізвище
236	Сидоров
185	Іванов
349	Петров
499	Кочетков
777	Харламов

Основна перевага реляційного підходу – його простота і доступність. Користувачі абстраговані від фізичної структури пам'яті. Це дозволяє експлуатувати БД без знання методів і способів її побудови. Основні достоїнства РМД такі: простота, незалежність даних; гнучкість; непроедурні запити, теоретичне обґрунтування на основі теорії відносин.

Основні недоліки РМД: низька продуктивність порівняно з ІМД і СМД, складність ПЗ, надмірність. Крім того, проблематичне забезпечення повного набору функціональних можливостей і необхідних операційних характеристик при обробці великих БД.

Ієрархічна модель даних.

Вона основана на понятті дерев, що складаються з вершин і ребер. Вершина дерева ставиться у відповідність сукупності атрибутів даних, які характеризують певний об'єкт. Вершини і ребра дерева ніби утворюють ієрархічну деревоподібну структуру (ІДС), що складається з n рівнів (рис. 6.3).

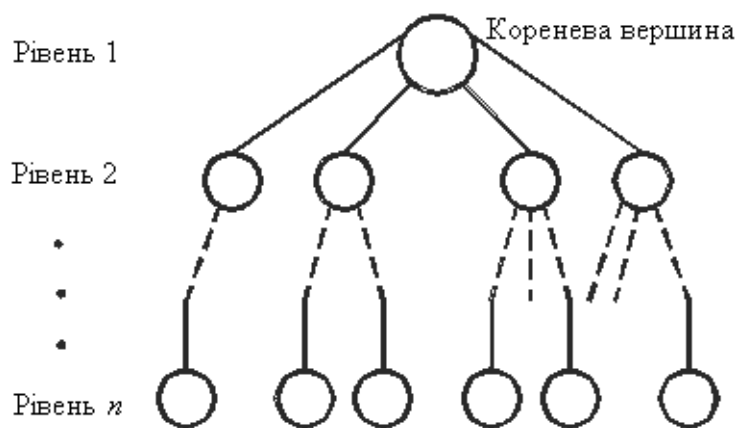


Рис. 6.3. Ієрархічна деревоподібна структура

Першу вершину в дереві називають кореневою вершиною ІДС. Вона відповідає семи умовам.

1. Ієрархія починається з кореневої вершини.
2. Кожна вершина відповідає одному або декільком атрибутам.
3. На рівнях з великим номером знаходяться залежні вершини.

Вершина попереднього рівня є початковою для нових залежних вершин.

4. Кожна вершина, що знаходиться на рівні i , сполучена з однією i лише однією вершиною рівня $i - 1$, за винятком кореневої вершини.

5. Коренева вершина може бути пов'язана з однією або декількома залежними вершинами.

6. Доступ до кожної вершини відбувається через кореневу за єдиним шляхом.

7. Існує довільна кількість вершин кожного рівня.

Ієрархічна модель даних складається з декількох дерев, тобто є лісом. Кожна коренева вершина утворює початок запису логічної бази даних. В ІМД вершини, що знаходяться на рівні i , називають породженими вершинами на рівні $i - 1$. Нижче наведено приклад подання інформації в ІМД, що реалізує відношення «один коефіцієнт багатьом» (рис. 6.4).

	КОРИСТУВАЧ			Коренева вершина		
Рівень 1	номер	прізвище	відділ			
	ЕОМ		ОПЕРАЦІЯ + РЕЗУЛЬТАТ			
				Породжена вершина		
Рівень 2	номер ЕОМ	назва	дата операції	означення	результат	рекомендації

Рис. 6.4. Приклад подання інформації в ІМД

Для кожного користувача може бути екземпляр кореневої вершини. Ієрархічна модель даних дозволяє для кожного користувача одержувати уявлення про декілька операцій і декілька ЕОМ. КОРИСТУВАЧ відповідає кореневій вершині і знаходиться на більш високому рівні ієрархії, ніж ЕОМ, ОПЕРАЦІЯ і РЕЗУЛЬТАТ.

Зазначимо, що вибір ІМД здійснює адміністратор БД на основі операційних характеристик. Введення двох ІМД, пов'язаних між собою, дозволяє вирішувати питання включення і видалення даних. Основна перевага ІМД – простота побудови і використання, забезпечення певного рівня незалежності даних, наявність існуючих СУБД, простота оцінки операційних характеристик. Основні недоліки: відношення «багато хто до багатьох» реалізується дуже складно, дає громіздку структуру і вимагає зберігання надмірних даних, що особливо небажано на фізичному рівні; ієрархічна впорядкованість ускладнює операції видалення і включення; доступ до будь-якої вершини можливий тільки через кореневу, що збільшує час доступу.

Мережні моделі даних.

У СМД елементарні дані і відносини між ними подаються у вигляді орієнтованої мережі (вершини – дані, дуги – відносини). База даних, описувана мережною моделлю, складається з декількох областей. Область містить записи. Один запис складається з декількох полів. Набір, що складається із записів, може розміщуватися в одній або декількох областях (рис. 6.4). У СМД об'єкти наочної області об'єднуються в мережу. Графічно мережна модель описується прямокутниками і стрілками. Кожний тип запису може містити множину атрибутів.

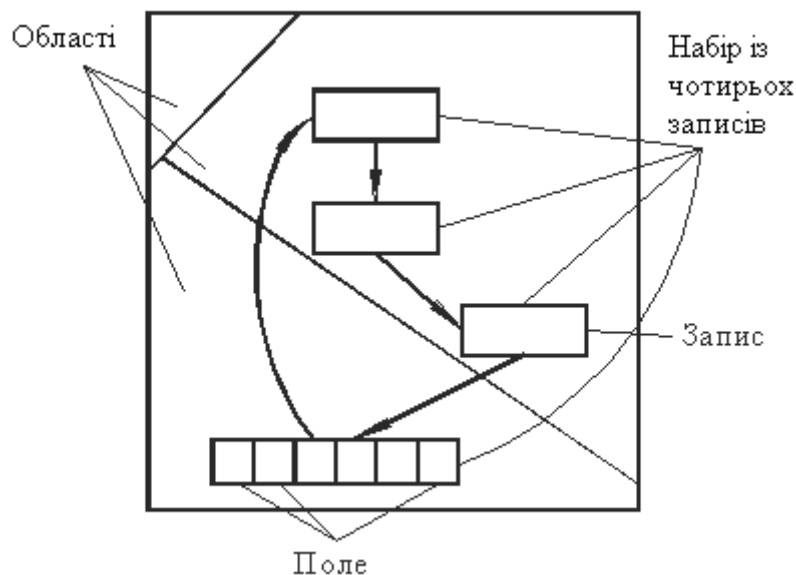


Рис. 6.4. База даних, описувана мережною моделлю

На рис. 6.6 показано приклад подання області у СМД. Тут область – це частина БД, в якій розташовуються записи, набори і частини наборів. Стрілками сполучено декілька типів записів, що зображають типи набору. Тип набору представляє логічний взаємозв'язок «один до багатьох».

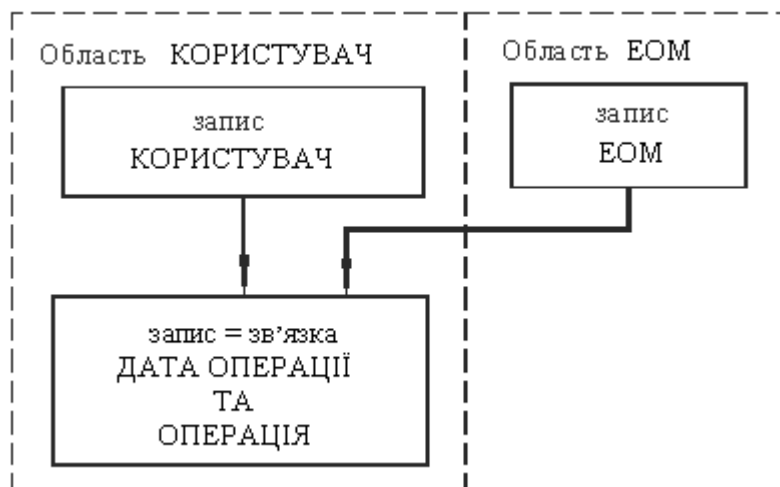


Рис. 6.6. Область у СМД

Важлива відмінність СМД від ІМД полягає в тому, що в СМД кожний запис може бути в будь-якому числі наборів і може знаходитися як на верхньому, так і на нижньому ієрархічному рівні. Отже, будь-який запис може бути заданий як точка входу.

Основні переваги СМД – наявність реалізованих СУБД, що забезпечують цю модель, простота реалізації відносин «багато хто до багатьох». Основний недолік СМД – її складність. При реалізації БД можлива втрата незалежності даних.

6.4. Організаційне і методичне забезпечення

Організаційне забезпечення – сукупність документів, що встановлюють склад проектної організації і її підрозділів, зв'язки між ними, їхні функції, а також форму подання результату проектування і порядок розгляду проектних документів, необхідних для виконання автоматизованого проектування. Компонентами організаційного забезпе-

чення САПР є методичні і керівні матеріали, положення, інструкції, накази й інші документи, що забезпечують взаємодію підрозділів проектної організації при створенні та експлуатації САПР.

Методичне забезпечення – сукупність документів, що встановлюють склад й правила відбору і експлуатації засобів забезпечення автоматизованого проектування, необхідних для виконання автоматизованого проектування.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення ІЗ САПР та його основних функцій.
2. Наведіть класифікацію БД САПР.
3. Основні вимоги до СУБД.
4. За допомогою яких засобів описуються дані в БД?
5. Наведіть основні моделі даних та їх основні відмінності.

Лекція 7

ЛІНГВІСТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

- 7.1. Призначення, склад, загальні вимоги.
- 7.2. Мови програмування.
- 7.3. Мовні процесори. Мови представлення знань.
- 7.4. Оцінка якості лінгвістичного забезпечення САПР.

7.1. Призначення, склад, загальні вимоги

Лінгвістичне забезпечення (ЛЗ) САПР – сукупність мов проектування (МП), включаючи терміни і визначення, правила формалізації природної мови і методи стиснення і розгортання текстів, необхідних для виконання автоматизованого проектування, представлених у заданій формі (рис. 7.1).

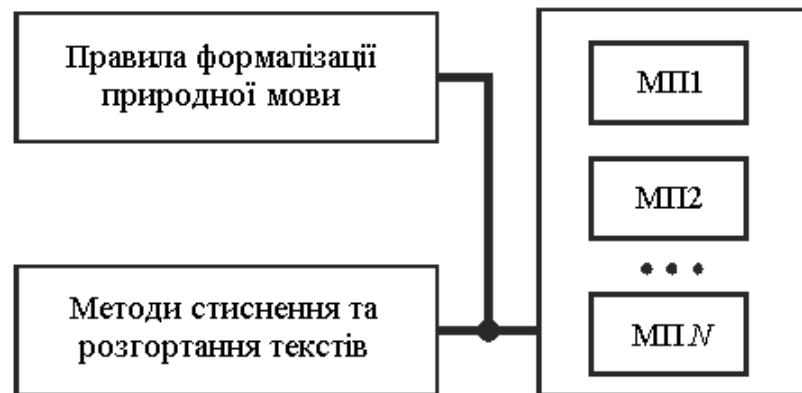


Рис. 7.1. Лінгвістичне забезпечення САПР

Лінгвістичне забезпечення САПР включає три складові:

- керувальна частина, що складається з проблемно-орієнтованих мов, за допомогою яких можна описати будь-яку схему й алгоритм, і цей опис зрозумілий і доступний процесору. Ці мови спеціалізовані і в основному є машинними кодами;
- мовні процесори, що є перекладачами на машинні мови;
- базове забезпечення, що є основою програмного забезпечення.

7.2. Мови програмування

Мови програмування використовуються для написання програм і застосовуються головним чином розробниками. Серед мов програмування розрізняються машинно-орієнтовані, що називаються мовами асемблера і автокодами, й алгоритмічні мови високого рівня.

Автокод – мова, пропозиції якої за структурою подібні до машинних команд.

Мова асемблера – автокод, розширений макрокомандами, виразами, засобами, що забезпечують модульність програм.

Використання машинно-орієнтованих мов дозволяє досягати щонайвищої ефективності з точки зору витрат – машинних часу і пам'яті. Ці мови універсальними для розв'язання задач різних класів – науково-технічних, економічних, прикладних тощо. Проте програмування вимагає високої кваліфікації програміста і призводить до збільшення термінів розробок. Головний недолік – непереносимість програм на інші ЕОМ з відмінною системою команд.

Алгоритмічні мови високого рівня – основний засіб розробки програмного забезпечення. У САПР найбільшого розповсюдження набули: ФОРТРАН, ПЛ/1, СІ, СИМУЛА-67, і перспективні мови МОДУЛА-2, АДА, ЛІСП, ПРОЛОГ.

Мова **ФОРТРАН** належить до найбільш ранніх (1954 р.) і простих мов. У ній немає засобів для різноманітного опису структур даних, заборонені рекурсивні звернення до процедур, немає строгого опису мови. Незважаючи на це, ФОРТРАН широко використовувався в 60-70-ті роки, завдяки простоті, розробці ефективних трансляторів.

Мова **ПЛ/1** (1965 р.) має широкі можливості опису різних процесів обробки даних, проте є важкою для освоєння і для розробки ефективних трансляторів.

Мова **ПАСКАЛЬ** і його розвиток **МОДУЛА-2** є основними претендентами на роль основних мов програмного забезпечення САПР. Вдале поєднання простоти і строгості в написанні мов.

Мова **СІ** – другий претендент опису САПР. Мова машинно-незалежна, поєднує риси мов високого рівня і мов асемблера.

Мова **АДА** – найбільш універсальна мова, що включає засоби опису паралельних процесів. Проте не набули широкого розповсюдження його транслятори.

Мова **БЕЙСІК** (1965 р.) – близька до ФОРТРАНУ, але зручна в організації діалогових режимів.

Мова **СИМУЛА-67** поєднує можливості універсальної алгоритмічної мови (входить АЛГОЛ-67) і мови імітаційного моделювання систем масового обслуговування. Його вживання перспективне для верхніх ієрархічних рівнів САПР.

Мови **ЛІСП** і **ПРОЛОГ** орієнтовані на обробку символічної інформації. Частіше за все використовуються для реалізації програмно-методичних комплексів, що належать до експертних систем.

Мови проектування служать для задавання інформації про об'єкти і задачі проектування і є засобом спілкування користувача САПР з ЕОМ. В мові виділяють 2 частини:

- процедурна – призначена для опису завдань на виконання певних проектних операцій і процедур;
- непроцедурна – служить для опису структур об'єктів.

Мовні засоби у цих двох частинах складають відповідно мову опису об'єкта (МОО) і мову опису завдань (МОЗ). Назва різновидів МОО, відповідно, схемні, графічні моделювання.

Вихідні мови – використовуються для надання інформації, що йде від ЕОМ до людини. Мови супроводу – застосовуються для коректування і редагування даних при виконанні проектних процедур.

У діалогових режимах ЕОМ всі три мови тісно пов'язано і об'єднуються під назвою діалогової мови.

Проміжні мови – використовуються для опису інформації про задачі проектування на певних стадіях трансляції. Введення єдиної для програмно-методичного комплексу проміжної мови полегшує адаптацію комплексу до нових вхідних мов.

Внутрішні мови – є мовами внутрішнього подання даних (ВПД). Введення єдиного ВДП робить ПМК відкритим по відношенню до нових елементів програмного забезпечення.

7.3. Мовні процесори. Мови представлення знань

Виконання на ЕОМ завдань, представлених певною мовою, відмінною від машинної, вимагає інтерпретації або попередньої трансляції початкової інформації. Ці перетворення інформації здійснюються програмами або технічними пристроями: інтерпретаторами і трансляторами. Об'єднуюча назва інтерпретатора і транслятора – *мовний процесор*.

Основні функції мовних процесорів:

- розпізнавання тексту, що вводиться, і виявлення окремих його складових;
- розпізнавання смислової інформації, визначення складності тієї або іншої програми;
- інтерпретація основного смислового значення введеної програми і забезпечення видачі результатів у вигляді зручному для проєктувальника.

Інтерпретатор (*interpret* – пояснювати, тлумачити) – програма або технічний пристрій, здатний виконати програму, по черзі аналізуючи і виконуючи вказівки вхідної мови.

Транслятор (*translate* – перекладати) – перекладає задану інформацію з однієї мови на іншу.

Програма і мова на вході у транслятор називаються початковими, а на виході – об'єктними.

Якщо об'єктна мова близька до машинної, то трансляція і транслятор називаються компіляцією і компілятором.

Якщо початкова і об'єктна мови одного рівня, то транслятор називається конвектором.

У транслятори інтерпретувального типу вводиться якась проміжна мова. Інший спосіб поєднання трансляції та інтерпретації – вживання крокових компіляторів (укрупнений розрахунок програм).

Структура трансляторів

Процес трансляції складається з декількох етапів, що називаються фазами трансляції.

1. *Лексичний аналіз* називається також скануванням, служить для розділення початкового тексту на окремі елементарні мовні одиниці –

лексеми, як які фігурують ідентифікатори, числа, мітки, знаки операції тощо. Складаються таблиці лексем. Виявляються неприпустимі поєднання.

2. *Синтаксичний аналіз* (СА) (граматичний розбір) – фаза, на якій перевіряється синтаксис мови. Результат – надання інформації проміжною мовою.

3. *Генерація коду* – здійснюється генератором коду, який використовує дані СА для побудови об'єктної програми.

Одна або декілька фаз, трансляція, що закінчується формуванням файлу, називається проходом. Існують одно- або багатопрохідні транслятори. Найскладніша фаза під час трансляції – синтаксичний аналіз. Математичним апаратом, що використовується при побудові синтаксичних аналізаторів, є апарат формальних граматик.

Для опису декларативних знань використовують:

- рольові мови;
- реляційні мови;
- логічні мови.

Декларовані знання є відомостями про предметну область у вигляді сукупності понять і відносин між ними.

Рольові мови породжуються фреймовими представленнями:

Реляційні мови описують семантичні мережі.

Логічні мови основані на обчисленні предикатів першого порядку.

Елементами логічної мови є символи для подання відносин (предикативні), змінних, констант.

Формули, що складаються з цих елементів, називаються матеріалами.

Для користувачів найбільш зручними є рольові мови. Однією з перших мов подання стала мова ЛІСП (1959 р.), ФРЛ, ПРОЛОГ. Опис задачі мовою ПРОЛОГ включає: дані про предметну область у вигляді сукупності фактів, правил, формулювання завдання.

7.4. Оцінка якості лінгвістичного забезпечення САПР

Сучасні ЕОМ в своєму математичному забезпеченні мають компілятори з різних мов програмування. Вибір мови програмування, самого відповідного для вирішуваних задач, значною мірою впливає і на якість ПО САПР. Тому одним з основних чинників при виборі мови

програмування є відповідність мови програмування типу вирішуваної задачі. Невідповідність мови вирішуваній задачі створює труднощі в написанні і відладці програми.

Мова програмування повинна володіти ефективним засобом для встановлення угод і регламентів, що забезпечують швидку і надійну стиковку окремо створюваних частин загальної програми.

Критеріями якості мови програмування і транслятора є простота, надійність, швидкість трансляції, ефективність об'єктного коду, легкість для читання і блоковість структури. Розглянемо ці якості докладніше. **Простота.** Засоби мови повинні бути простими для розуміння і виражені у формі, яка є природною основою для спілкування програміста з машиною, що легко запам'ятовується і інтуїтивно зрозумілій для програмування. Простоті мови сприяють одноманітність в символіці і організації, цілісність основних концепцій.

Надійність. Під надійністю мови розуміється її властивість, яка характеризується вірогідністю безпомилкового написання і трансляції програми заданого розміру.

Швидкість трансляції. Швидкість трансляції – істотний показник, тому що мови програмування не виключають етап відладки в процесі розробки програми і досить часто програма багато раз транслюється в процесі відладки, а виконується тільки одна раз. Одним з шляхів збільшення швидкості трансляції є використання незалежної трансляції, що полягає в тому, що компілятор може транслювати програму по частинах.

Ефективність об'єктного коду. Отримання ефективних машинних кодів можливе в процесі трансляції тільки з мов, при розробці яких передбачалася оптимізація програм компілятором (мови АДА, ФОРТРАН). Наявність добре компіляторів, що пропрацювали, дозволяє одержувати програми прийнятних розмірів і ефективності. Машинно-незалежні оптимізатори повинні перетворити неефективні програми в більш ефективні, повністю еквівалентні і записані в тій же початковій мові.

Легкість для читання. Від того, наскільки вдалі коментарі і скільки зручно вони розміщуються в програмі, істотно залежить швидкість розуміння програми. Програми пишуться програмістами, чита-

ються ними ж або їх колегами ще до введення в ЕОМ, тому якості коментарів (легкості для читання) при розробці мови повинно надаватися велику увагу.

Блоковість структури. Блокову структуру мають програми, написані на мовах АЛГОЛ, ПЛ/1 і АДА. В цих мовах кожна програма або підпрограма організовується у вигляді послідовності вкладених один в один блоків, обмежених спеціальними покажчиками (наприклад, в АЛГОЛ – словами `begin` і `end`).

Блокова структура забезпечує гнучку систему управління даними і дозволяє одержати високоефективно виконувані об'єктні коди.

Ясність структури програми дає програмісту і користувачу великі переваги. Програму, структура якої відображає структуру реалізованого нею алгоритму, легко проектувати, кодувати, відладжувати, розуміти і супроводжувати.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення ЛО САПР та його основних функцій.
2. Для чого призначені мови програмування?
3. Основні відмінності між машинно-орієнтованими й алгоритмічними мовами.
4. Наведіть основні функції мовних процесорів.
5. Наведіть основні фази трансляції.

Лекція 8

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР

8.1. Класифікація, структура, основні вимоги до ПЗ.

8.2. Особливості й етапи розробки ПЗ САПР.

8.3. Оцінка якості програмного забезпечення САПР.

8.1. Класифікація, структура, основні вимоги до ПЗ

Програмне забезпечення (ПЗ) САПР – сукупність машинних програм, необхідних для автоматизованого проектування, представлених у заданій формі. Частину ПЗ, призначена для управління проектуванням, називають операційною системою (ОС) ПЗ.

Сукупність машинних програм (МП), необхідних для виконання якої-небудь проектної процедури і поданих у заданій формі, називають пакетом прикладних програм (ППП).

Компонентами ПЗ є документи з текстами програм, програми на всіх видах носіїв, експлуатаційні документи. Програмне забезпечення розділяють на загальносистемне (ЗПЗ) і прикладне (ППЗ). Компонентами ЗПЗ є транслятори з алгоритмічних мов, емулятори, супервізори тощо. Компонентами ППЗ є програми і пакети прикладних програм для виконання автоматизованого проектування.

Розробка ПЗ є найбільш тривалою і дорогою частиною проектування САПР. Від властивостей ПЗ значною мірою залежать можливості та показники САПР.

До ПЗ САПР висувають такі вимоги.

Економічність ПЗ – оцінюється витратами обчислювальних ресурсів – машинного часу й оперативної пам'яті.

Зручність користування – визначається надійністю, наявністю проблемно-орієнтованих вхідних мов і засобів діагностики помилок користувача.

Надійність ПЗ – властивість виконувати задані функції у заданих умовах.

Правильність ПЗ – властивість, що характеризує відповідність ПЗ специфікаціям математичного характеру, тобто правильність реалізації у ПЗ вибраного математичного апарату.

Універсальність ПЗ – характеризується обмеженнями на вживання ПЗ.

Відкритість ПЗ – характеризується внесеннями змін в процесі експлуатації.

Супроводжуваність – властивість, близька до відкритості, характеризує зручність підтримки ПЗ у працездатному стані і забезпечується структурованістю ПЗ.

Мобільність ПЗ – називається переносимістю, визначається легкістю перебудови ПЗ, експлуатація на ЕОМ з різними системами команд.

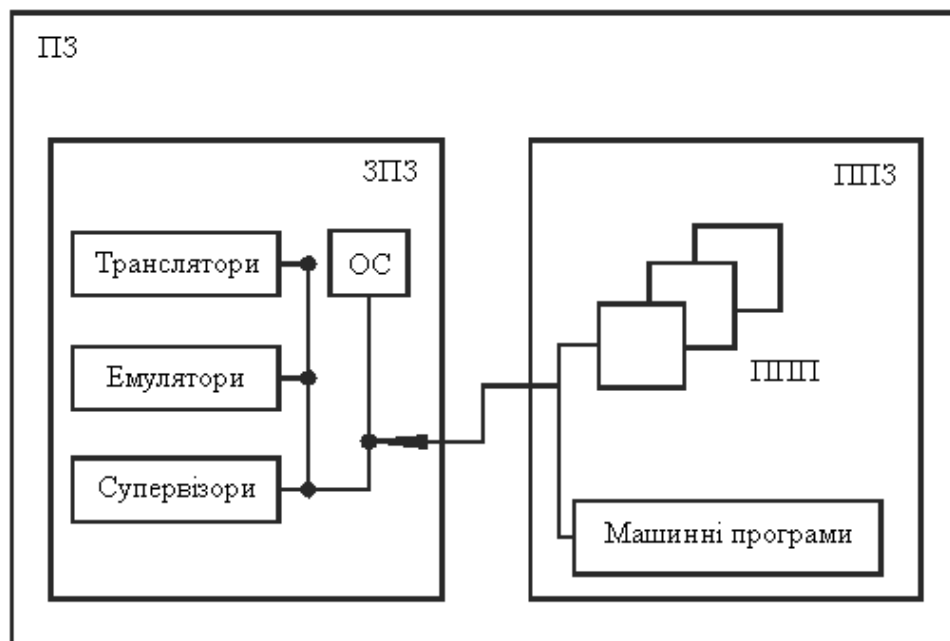


Рис. 8.1. Програмне забезпечення САПР

За своєю структурою ПЗ САПР поділяють на такі:

Загальносистемне (основне) ПЗ, що включає операційну систему і системи програмування. При виборі ОС визначають її КПД:

$$\text{КПД}_{\text{ос}} = 1 - \frac{T_{\text{ос}}}{T_{\text{м}}}, \quad (8.1)$$

де $T_{\text{ос}}$ – час, необхідний на обробку ОС;

$T_{\text{м}}$ – час, необхідний для розв'язання конкретної задачі (машинний час).

Базове ПЗ – розробляється і поставляється спільно з апаратурою АРМ і призначається для використання багатьма проектними організаціями. Типовими прикладами базових ПЗ є ПЗ обслуговувальних підсистем САПР – графічних редакторів, діалогових моніторів тощо.

Прикладне ПЗ – складають пакети прикладних програм (ППП) типових проектних процедур.

Розрізняють:

- ППП простої структури – характеризуються наявністю тільки оброблювальної частини (для певної операції або процедури);
- ППП складної структури (керувальна частина монітора + мовний процесор з проблемно-орієнтованою вхідною мовою) і програмні системи (ПС + лінгвістичне + інформаційне забезпечення називається програмно-методичним комплексом ПМК САПР).

8.2. Особливості й етапи розробки ПЗ САПР

ПЗ САПР розробляється у зв'язку з такими основними принципами: модульної (блоковості) і ієрархічності.

Модуль – структурна складова ПЗ, що розглядається як єдине ціле на певних стадіях розробки.

Виділяють такі ієрархічні рівні (рис. 8.2).

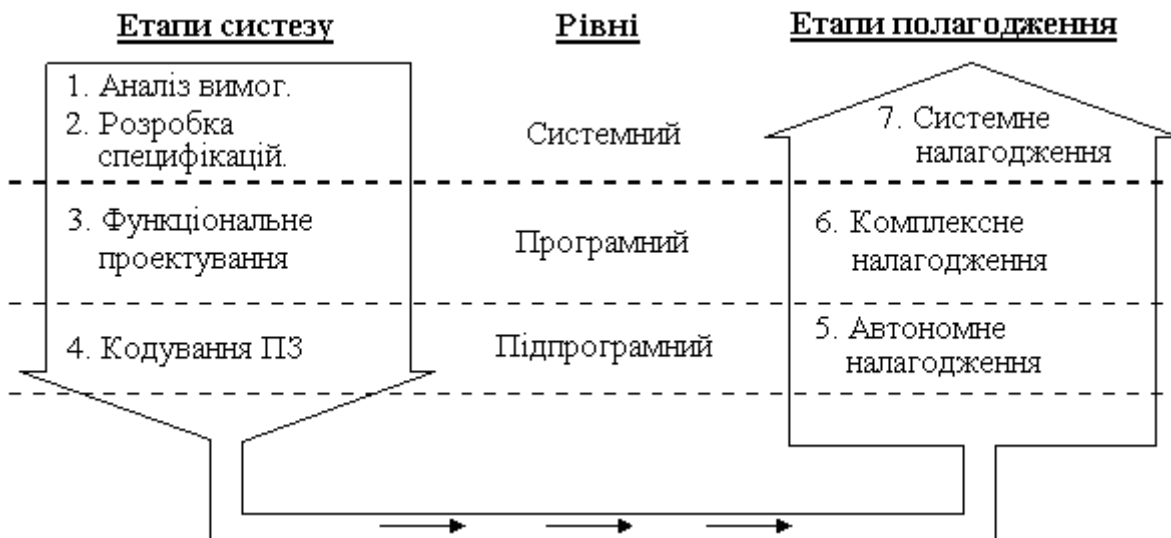


Рис. 8.2. Етапи розробки ПЗ

Системний рівень – на ньому конкретизуються функції ПМК, планується його структура і склад, обираються або розробляються мови програмування.

Рівень прикладних програм – на ньому обирається математичне забезпечення, розробляються специфічні алгоритми, обираються структури даних тощо.

Рівень підпрограм (модулів) – на ньому проводиться конкретизація типів і структур даних, здійснюється кодування алгоритмів (запис вибраною мовою програмування).

Загальними особливостями організації ППП є такі:

1. Орієнтація пакета на певний клас задач. При цьому ППП поділяються на методо-орієнтовані та проблемно-орієнтовані. Перші призначені для розв'язання задач різними методами, наприклад, пакет алгоритмів параметричної оптимізації. Другі пакети призначені для розв'язання певного набору задач, що розрізняються як за постановкою, так і за методами розв'язання.

2. Кожний ППП має певний набір можливостей щодо методів обробки даних, форм подання результуючої інформації тощо. Це дає можливість користувачу обрати необхідний варіант обробки даних.

3. Значне зниження вимог до рівня професійної підготовки інженера-користувача у сфері програмування порівняно з підготовкою математика-програмувача.

Класифікуючи ППП, зазвичай указується тип операційної системи, під управлінням якої працює пакет, і спосіб організації пакета. За способом організації ППП поділяються на пакети з бібліотечною і блоковою організацією. Перша є найпростішою і орієнтована на користувачів-програмістів високої кваліфікації. За такого підходу мало проблем під час формування пакету, проте з'являються серйозні труднощі в експлуатації пакета, оскільки стиківка програм за інформацією постійно вимагає втручання користувача на рівні алгоритмічної мови.

При блоковій організації ППП визначається коло розв'язуваних задач і для кожної із них складається граф управління, згідно з яким у початкової сукупності програм у певному порядку викликаються дії в даній задачі. При зверненні до пакету достатньо вказати шифр відповідного графа управління і задати необхідну початкову інформа-

цію, що забезпечує зручність і простоту при експлуатації. Недолік подібного підходу полягає в тому, що при появі нових задач вимагається з початкових програм формувати новий граф управління, а для цього потрібне знання функцій і особливостей кожної програми.

За блокової організації ППП за принципом «чорного ящика» автоматично формується граф, що містить послідовність програм, яка забезпечує розв'язання заданої користувачем задачі. При цьому враховуються причинно-наслідкові зв'язки між результатами функціонування усіх програм, що можна представити у вигляді матриць інцидентності, суміжності тощо.

За такої організації робота з пакетом значно спрощується, оскільки при зверненні до пакета достатньо тільки вказати мету звертання.

Як правило, ППП, що входять до САПР, повинні створюватися на основі єдиних принципів, з повним обсягом стандартизованої документації, з чіткою орієнтацією кожного пакета на конкретну функцію, виконувану САПР. Проте повної архітектурної єдності в ППП, що використовуються, досягти не вдається у тих випадках, коли у складі САПР використовуються ППП (переважно інваріантні), розроблені в різних організаціях. Такий підхід до комплексування САПР безумовно не дозволяє говорити про синтез її оптимальної структури. У той же час у зв'язку з інтенсивним розвитком програмного забезпечення останніми роками з'являється можливість підбору ППП різного призначення, що не порушують архітектурної єдності всієї системи.

Проте, не зважаючи на наявні відмінності в підходах до створення ППП, в основі їх побудови завжди лежить модульний принцип.

На кожному з ієрархічних рівнів розробки ПЗ є свої способи подання проектних рішень. Якщо після етапу кодування виходять повні тексти програм на прийнятих мовах програмування, то на попередніх етапах необхідно мати засоби більш лаконічного й укрупненого подання структур даних, обчислювальних процесів й опису специфікацій. Такими засобами є:

- **граф** – схема є графом, вершини якого зображають блоки обробки інформації, а дуги (ребра) – зв'язку за інформацією або управлінням між блоками;

- **діаграма HIPO** (ієрархія – вхід – обробка – вихід) служить для подання специфікацій модулів у вигляді переліку виконуваних функцій та опису даних, що є вхідними і вихідними для модуля;

- **функціональні схеми (ФС)** – використовують для подання структур програмних комплексів у вигляді послідовності блоків обробки, приймачів і джерел інформації. ФС використовують на верхніх етапах проектування.

Граф-схеми и функціональні схеми є наочними, але малозрозумілими у процесі поступової деталізації опису складних програмних комплексів. Тому найгнучкішими й універсальними є псевдомови, або мови специфікацій.

Псевдомова – є об'єднанням природної мови з однією із мов програмування.

Наприклад: Мова ПАСКАЛЬ

PROGRAMM STAT:

разделы меток, констант, типов, переменных

BEGIN: обнуление статистических сумм

FOR ДО:=1 TO LDO

BEGIN

выбрать случайные значения для всех элементов вектора X

END

8.3. Оцінка якості програмного забезпечення САПР

Розробка програмного забезпечення САПР є одним із основних і відповідальних етапів створення САПР. При постійному розширенні ПЗ САПР витрати на ПЗ безперервно зростають і, як правило, значно перевищують витрати на ТЗ САПР. Створення ПЗ САПР – задача, що вимагає великих матеріальних витрат. Відомі САПР, ПЗ яких містить до 500 тисяч операторів мови програмування. Розробка такого ПЗ вимагає сотень і тисяч людино-років.

Висока вартість ПЗ пояснюється низькою швидкістю зростання продуктивності праці програмістів (середня продуктивність складає 1000–2000 операторів/год).

У США ціна одного оператора програми коливається, залежно від ступеня складності ПЗ, від 15 до 700 доларів, 1 година роботи програміста коштує в 5 разів дорожче 1 години роботи ЕОМ. Наведені дані стосуються ПЗ, яке є закінченим програмним продуктом, що представляється як промисловий виріб.

Вартість програмного продукту в 9 разів вище вартості програми індивідуального призначення.

Для оцінки складності ПЗ використовуються 2 основні показники:

- кількість операторів;
- кількість і типи взаємозв'язків компонентів ПЗ між собою (керувальні програми в 4 рази більш трудомісткі, ніж прикладні).

Розробка ПЗ у даний час поставлена на індустріальну основу. Кінцевим продуктом розробки ПЗ є *програмний виріб* (ПВ), під яким розуміються програми, що записані на носіях даних і пройшли стадії промислової розробки, та комплект документації, що супроводжує ПВ. Ефективність функціонування САПР багато в чому визначається якістю програмних виробів. Низька якість ПВ завдає великого матеріального збитку, викликає недовіру до ПВ, відволікає фахівців-користувачів від основної роботи. Вартість локалізації й усунення помилок в експлуатованому ПВ обходиться в десятки разів дорожче, ніж усунення помилок на стадії проектування. Оцінка якості ПВ – задача багаточинникова і що важко формалізується. Визначальним чинником під час оцінки якості програми є різноманіття інтересів користувача. Через це неможливо запропонувати єдину універсальну міру якості ПВ, тут потрібно багато характеристик, що охоплюють цілий спектр бажаних властивостей. В літературі зустрічаються різні набори показників якості ПВ. Розглянемо основні з них.

1. Документованість – характеристика програмного забезпечення, що об'єднує властивості зрозумілості, обміркованості і завершеності. Програмне забезпечення має властивість зрозумілості, якщо воно дозволяє користувачу зрозуміти призначення програмних засобів.

Програмний виріб має властивість обміркованості, якщо його документація не містить надмірної інформації і не допускає багатозначної інтерпретації термінів і символів, і завершеності, якщо в ньому присутні всі необхідні компоненти, кожний з яких розроблений всесторонньо.

2. Ефективність – властивість ПВ виконувати необхідні функції без зайвих витрат ресурсів. Як оцінку ефективності можна прийняти характеристику програми, значення якої прямо пропорційно швидкодії й обернено пропорційно до об'єму ресурсів, що використовуються. Термін «ресурси» розуміється у найширшому значенні: це можуть бути оперативна і зовнішня пам'ять, пристрої графічного введення і графічні пристрої, пропускна здатність каналу тощо.

3. Надійність – властивість ПВ стійко виконувати необхідні функції. Надійність перш за все має на увазі відсутність помилки в програмі, але оскільки вони неминучі, то програма повинна бути побудована так, щоб всі помилки могли бути просто виправлені, а це можливо за наявності якісної програмної документації.

4. Простота використання – властивість ПВ нормально функціонувати в чітко визначеній галузі вживання даного ПВ.

5. Зручність експлуатації – властивість ПВ адаптуватися відповідно до вимог, що знов з'явилися. Зручність експлуатації припускає зрозумілість, оцінюваність і простоту внесення змін.

6. Мобільність – властивість ПВ, що полягає в його пристосованості до перенесення на ЕОМ іншого типу, ніж той, для якого ПВ розробився, а також до зміни операційної системи.

7. Сумісність – властивість ПВ, що полягає в тому, що ПВ або програми, що в нього входять, можуть виконуватися в технічному, інформаційному і програмному середовищі іншого типу, ніж той, для якого воно безпосередньо призначено.

8. Випробовуваність – властивість ПВ, що полягає в наявності можливості достатньо просто оцінювати правильність функціонування програми в умовах конкретного середовища.

9. Вартість програми є функцією всіх її характеристик. Поліпшення будь-якої з характеристик впливає на вартість ПВ, тому завжди повинен бути знайдений розумний компроміс між ступенем поліпшення характеристики ПВ, що цікавить нас, і збільшенням його вартості.

Безпосередня оцінка виділених характеристик є достатньо складною. Для отримання якісного програмного забезпечення необхідно вживати спеціальних заходів, направлених на гарантування заданих

характеристик якості. Зв'язок якості ПВ з процесом його розробки і створення аналогічний залежності якості технічного об'єкта від процесу його проектування і виготовлення. Аналіз якісних характеристик повинен проводитися на кожному етапі процесу розробки і створення ПВ.

З кінця 60-х років минулого століття почалося становлення нової наукової дисципліни «Методи розробки програмного забезпечення».

Контрольні запитання

1. Наведіть класифікацію ПЗ САПР і основні вимоги до нього.
2. Назвіть етапи розробки ПЗ САПР.
3. Назвіть способи опису структури ПЗ.
4. У чому полягає оцінка якості ПЗ?
5. Назвіть основні показники якості ПЗ.

Лекція 9

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ САПР

- 9.1. Призначення CAD/CAE/CAM-систем.**
- 9.2. Розподіл CAD/CAE/CAM-систем за етапами.**
- 9.3. Рівні CAD/CAE/CAM-систем.**
- 9.4. Інтеграція у CAD/CAE/CAM-системах.**

9.1. Призначення CAD/CAE/CAM-систем

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

Інструментальні засоби – це CAD/CAE/CAM-системи, за останній час у двигунобудуванні набули значного поширення.

CAD/CAE/CAM-системи призначені для комплексної автоматизації проектування, конструювання і виготовлення продукції машинобудування. В них фактично з'єднано три системи різного призначення, розроблені на єдиній базі, аббревіатури яких розшифровуються таким чином:

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

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

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

PDM – Product Data Management – системи управління проектними даними.

9.2. Розподіл CAD/CAE/CAM-систем за етапами

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

Етап технологічної підготовки виробництва (АСТПП) – на Заході називають CAPP (Computer Automated Process Planing) – передбачає розробку технологічних процесів, технологічного оснащення, керувальних програм (КП) для устаткування з ЧПУ. Сюди входить задача САПР ТП – розробка технологічної документації (маршрутної, операційної), що доводиться до робочих місць і регламентує процес виготовлення деталі.

Конкретний опис обробки на устаткуванні з ЧПУ у вигляді керувальних програм вводиться в систему автоматизованого управління виробничим устаткуванням (АСУПР), яку на Заході називають САМ.

Системи, що використовуються для аналізу й оцінки функціональних властивостей проєктованих двигунів, їх систем, вузлів і деталей, охоплюють широке коло задач моделювання пружно-напруженого, деформованого, теплового стану, коливань конструкції, стаціонарного і нестаціонарного газодинамічного і теплового моделювання з урахуванням в'язкості, турбулентних явищ, прикордонного шару тощо. Найбільш поширені CAE-системи, що використовують розв'язання систем диференціальних рівнянь у частинних похідних методом скінченних елементів (МСЕ). Вони поділяються на універсальні системи аналізу з використанням МСЕ та спеціалізовані. У двигунобудуванні найбільш відомими є такі універсальні системи, як *Nastran*, *Ansys*, російські ИСПА, КОСМОС та інші, що дозволяють виконувати різні види аналізу на розподіленому рівні. Спеціалізовані системи МСЕ орієнтовані на конкретні види аналізу. Прикладами таких систем можуть слугувати пакети *Flotran*, *Fluid*, призначені для моделювання гідрогазодинамічних процесів, *OPTRIS* – для моделювання деформацій тощо.

PDM-системи використовуються на всіх етапах проєктування, дозволяючи здійснювати режим колективного проєктування, автоматизуючи функції управління, пов'язані з цим режимом: призначення і забезпечення якості відповідальності, прав доступу, ведення бази даних проєкту тощо.

9.3. Рівні CAD/CAE/CAM-систем

Залежно від функціональних можливостей, набору мЗДУлів і структурної організації CAD/CAE/CAM-системи можна умовно розподілити на три групи: легкі, середні і важкі системи.

Легкі системи. Це перший в історичному розвитку, що склався, клас систем. До цієї категорії можна віднести такі системи, як *AutoCAD*, *CAD-KEY*, *Personal Designer*, *ADEM*, *КОМПАС*. Вони, як правило, використовуються на персональних комп'ютерах окремими користувачами. Такі системи призначені в основному для якісного виконання креслень. Також вони можуть використовуватися для двомірного (2D) моделювання і нескладних тривимірних побудов.

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

Системи середнього класу. Клас, що порівняно недавно з'явився, відносно недорогих тривимірних CAD-систем. До нього належать системи *AMD*, *Solid Edge*, *Solid Works* і т.д. Їх поява пов'язана зі збільшенням потужності персональних комп'ютерів і розвитком операційної системи. За їх допомогою можна розв'язувати до 80% типових машинобудівних задач, не залучаючи потужні і дорогі CAD/CAM-системи важкого класу.

Більшість систем середнього класу ґрунтується на тривимірному твердотільному моделюванні. Вони дозволяють проектувати більшість деталей загального машинобудування, складальні одиниці середнього рівня складності, виконувати спільну роботу групам конструкторів. У цих системах можливо проводити аналіз перетинів і зазорів у складаннях.

Системи важкого класу. Такі системи надають повний набір інтегрованих засобів проектування, виробництва, аналізу виробів. До цієї категорії систем потрапляють *CATIA*, *Unigraphics*, *Pro/ENGINEER*, *CADD5*, *EUCLID*, *Cimatron*. Вони використовують ґне;ys апаратні засоби, як правило, робочі станції з операційною системою *UNIX*.

Системи важкого класу дозволяють розв'язувати широкий спектр конструкторсько-технологічних задач. Окрім функцій, доступних системам середнього класу, важким CAD/CAM-системи доступно:

- проектування деталей найскладнішого типу, що містять дуже складні поверхні;
- виконання побудови поверхонь за наслідками обміру реальної деталі, виконання згладжування поверхонь і складних сполучень;
- проектування масивних складок, що вимагають ретельної компоновки і містять елементи інфраструктури (кабельні джгути, трубопроводи);
- робота зі складними складками в режимі варіантного аналізу для швидкого перегляду й оцінки якості компоновки виробу.



Рис. 9.1. Класи CAD/CAM-систем і обсяги виконуваних функцій

Можна стверджувати, що в майбутньому для автоматизованої розробки двигунів переважно використовуватимуться важкі системи у взаємодії зі спеціалізованими САПР, оскільки вони значно знижують трудомісткість проектування і конструювання.

CAD/CAE/CAM-системи і системи класу PDM дозволяють організувати паралельне проектування – колективний режим роботи над проектом, коли одночасно велика кількість фахівців працює над різними частинами і стадіями проекту виробу як в рамках ОКБ, так і в рамках віртуальної корпорації (з розподіленими суміжниками). Усе це дає нову якість – проектування і виготовлення перетворюється на віртуальну технологію виготовлення комп'ютерного макета виробу.

Для сучасних CAD/CAM-систем характерним є модульний принцип побудови. Нижче наведено склад базових модулів для CAD-, CAM- і PDM-систем.

Модулі CAD систем:

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

Модулі CAM-систем:

- проектування технологічних процесів виготовлення продукції та оснащення;
- динамічний контроль процесу збирання;
- вибір параметрів холодного штампування (імітується весь процес штампування, у тому числі «накладення» штампувальних пристроїв на поверхню деталі);
- створення і відладка програм для верстатів з ЧПУ (моделюється кінематика верстата, його робоча зона, стійка управління, заготівка, її кріплення й інструмент; на екрані детально відображається процес обробки);
- оптимізація параметрів процесів литва деталей з пластмас;
- модулі програмування для верстатів з ЧПУ;
- створення, редагування і моделювання програм вимірювання і контролю відповідності деталі її об'ємній моделі за допомогою координатно-вимірювальної машини.

Модулі PDM систем:

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

Електронна модель виробу, що складається із зазначених даних, проходить у процесі створення три рівні архівації:

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

Переміщення інформації на більш високий рівень відбувається у результаті «електронного підпису» особи, що ухвалює рішення.

9.4. Інтеграція у CAD/CAE/CAM-системах

Сутність інтеграції полягає у здатності створювати дані для одного додатка і за умови малих змін використовувати їх для іншого додатка. CAD/CAE/CAM є інтегрованими системами. Інтеграція в них здійснюється через геометричні моделі об'єктів, які зазнають відпові-

дних перетворень. Комп'ютерні геометричні моделі – це спосіб подання даних про проєктований об'єкт, його форму, розмір, орієнтації в просторі, зв'язки з іншими деталями тощо.

Інтеграція CAD- і CAE-систем полягає в тому, що кінцево-елементна модель, необхідна для інженерного розрахунку в CAE-системі, будується за геометричною моделлю в CAD-системі. Для такої побудови в CAD-системах використовується додаток FEM (Finite Element Modeling – кінцево-елементне моделювання). При перетворенні геометричної моделі в модель кінцевих елементів користувач наносить на геометричну модель сітку, тобто розбиває її на скінченну кількість елементів, кожний із яких ідентифікується координатами своїх вузлів X , Y , Z і взаємозв'язком із сусідніми елементами.

Для більш точного подання областей високих навантажень у цих областях елементи сітки подрібнюються, що означає розміщення в цій області більшої кількості елементів, чим це передбачається рівномірним розбиттям. Потім указуються місця закріплення деталі і точки додатку векторів сил. Ця інформація сприймається програмою, яка імітує виникнення навантажень на модель. Потім за моделлю кінцевих елементів створюються дані, що представляють координати вузлів сітки й іншу інформацію, необхідну для програм аналізу (ANSYS, STAR-CD тощо). Ці програми здійснюють аналіз. Залежно від запитів результати аналізу можуть подавати дані про тиск і напругу на кожний елемент, температуру, види коливань, деформації моделі. Інформацію про результати можна представити графічно.

На рис. 9.2 наведено геометричну інтерпретацію результатів розрахунку статичної міцності лопатки «блиска» компресора (робочого колеса компресора, у якого лопатки виготовляються разом з диском).

Лопатка моделювалася об'ємними 8-вузловими елементами. Кількість елементів за максимальною товщиною профілю – 4. Лопатка була жорстко закріплена по кореневому перетині. Показано головні максимальні напруги.

Процес аналізу часто є ітераційним – тим самим оптимізується проєкт. У результаті аналізу, наприклад, може бути виявлена концентрація напруг, яка виходить за межі допустимих характеристик матеріалу деталі. Ці факти, що знаходяться в процесі аналізу, обумовлюють

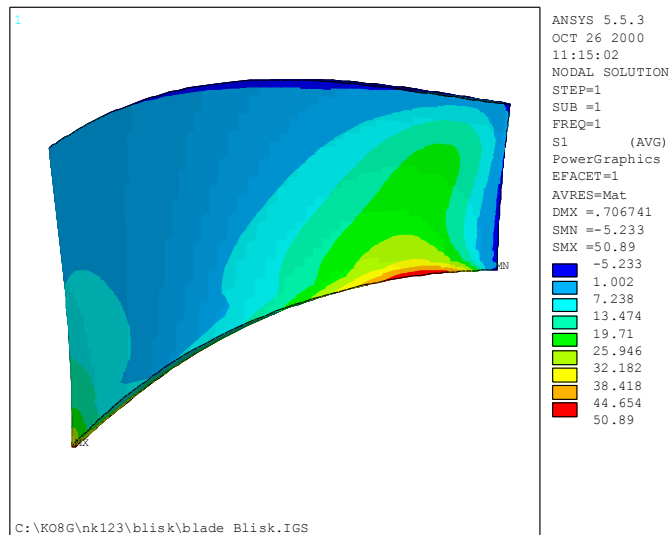


Рис. 9.2. Приклад розрахунку

конструкторські зміни, такі як розміщення додаткових опор, потовщення, перевизначення навантаження, зміна типу матеріалу або інші коректуючі дії. Після виконання цих виправлень геометрія моделі може змінитися.

При проектуванні ливарного і штампового технологічного оснащення на першому етапі здійснюється доробка геометричної моделі деталі з урахуванням термодинамічних властивостей матеріалу деталі, тобто конструктор визначає усадку матеріалу, відповідно до якої вводяться різні коефіцієнти масштабу по осях координат. На другому етапі проводиться призначення ливарних або штампувальних припусків на механічну обробку і знов коректується геометрична модель. Таким чином, проводиться перехід від геометричної моделі деталі до геометричної моделі заготовки – відливання або штампування. На третьому етапі в CAD/CAM-системах, наприклад, в Power Mill, по одержаних геометричних моделях заготовки конструюється технологічне оснащення:

- будуються поверхні і лінії роз'ємів;
- визначаються формуючі елементи – напівформи для відливань, вставки для прес-форм, комплекти «матриця-пуансон» для штампувань;
- формуються управляючі програми для верстатів з ЧПУ для виготовлення оснащення;

- проводиться виготовлення оснащення, причому формоутворювальні поверхні виготовляються або механічною обробкою на верстатах з ЧПУ, або електроерозионною обробкою також на верстатах з ЧПУ;
- проводиться отримання виробу відповідно до розробленого технологічного процесу, контроль на контрольно-вимірювальних машинах і порівняння одержаних контурів з геометричною моделлю деталі. При задовільних результатах слідує виготовлення досвідчено-промислової партії деталей, збірка і випробування виробу.

Одним з сучасних способів використання геометричних моделей в технологічній підготовці виробництва є стереолитографія (технологія Quick Cast). Цей метод припускає отримання в CAD/CAM-системі по геометричній моделі стереолитографічної моделі (файл типу *.stl*) і вирощування тіла деталі з рідкого полімеру під впливом променя лазера, рух якого здійснюється на основі *.stl*-моделі. Точність такого макету $\pm 0,05$ мм. Такі макети можуть використовуватися як зліпки для подальшого литва воскових моделей, вживаних в ливарному виробництві.

CAD/CAE/CAM системи, безумовно, є системами автоматизованого проектування, аналізу, виготовлення. Але, хоча їх використання і припускає достатньо високий рівень комп'ютеризації інженерної документації, вони не є інтелектуальними САПР.

Рівень будь-кого САПР повинен характеризуватися не тільки набором закладених універсальних функцій, але і ступенем автоматизації самого процесу проектування конкретного виробу. Принципова відмінність інтелектуальних систем автоматизованого проектування полягає в тому, що як початкова інформація виступають технічні вимоги до виробу і знання про методи його проектування, засновані на його функціональному призначенні і досвіді експерта. Саме поняття інтелектуальної САПР говорить про явну присутність в системі знань, тобто про можливість на якому-небудь рівні ухвалювати рішення без участі проектувальника. Така можливість може бути забезпечена використанням спеціалізованих САПР.

Необхідність зв'язку інструментальних і інтелектуальних САПР полягає в тому, щоб використовувати при проектуванні переваги, вигоди обох класів САПР. Найочевидніший вихід з положення –

створювати інструментальні САПР як додатки до конкретних CAD/CAM-систем, використовуючи вбудовані засоби програмування. Очевидний і недолік цього методу: жорстка прив'язка до конкретної CAD/CAE/CAM-системи, неможливість занурення створеного додатку в інше інструментальне середовище. Інший спосіб інтеграції – створення гетерогенного середовища, в яке входили б як інструментальна, так і інтелектуальна САПР, причому необхідно передбачити можливість заміни інструментального середовища.

Контрольні запитання

1. Які Ви знаєте інструментальні засоби САПР?
2. У чому відмінність різних CAD/CAE/CAM-систем?
3. Як розподіляються CAD/CAE/CAM-системи по етапах ТПП?
4. Назвіть основні рівні CAD/CAE/CAM-систем. Яке їх призначення?
5. У чому полягає інтеграція в CAD/CAE/CAM системах?

Лекція 10

АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУКТОРСЬКОГО ПРОЕКТУВАННЯ

- 10.1. Методологія автоматизації проектування.
- 10.2. Класифікація задач конструкторського проектування.
- 10.3. Організація взаємодії конструктора з ЕОМ.
- 10.4. Імітаційне моделювання.
- 10.5. Вибір базової системи проектування і виробництва для промислового підприємства.

10.1. Методологія автоматизації проектування

Методологія будь-якої діяльності – це вчення про структуру, логічну організацію, методи і засоби цієї діяльності.

Оскільки САПР припускає використання багатьох методів, то виникає необхідність у вживанні більш строгих понять.

На технічну систему можна дивитися з трьох сторін (у філософії це називається модули стану):

- як на виріб;
- як на пристрій;
- як на процес.

1. *Виріб*: складальні одиниці (СО) і деталі (умовно-монолітні деталі – МД). Це результат виготовлення і збірки (попередметная декомпозиція).

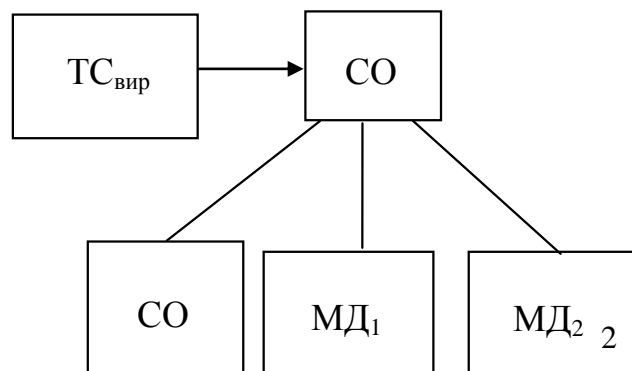


Рис. 10.1. Приклад структури технічної системи як виробу

2. *Пристрій*. Готово вчинити корисний ефект. Тоді розподіл на функціональні елементи (функціональна декомпозиція).

3. *Процеси*, зміна стану. Функціонуюча технічна система. Процеси взаємодії технічної системи з середовищем.

Таблиця 10.1 – Приклади предметів, пристроїв і процесів

Предметы	Устройство	Процессы
Статор	Несущая поверхность крыла	Сжатие
Ротор	Лопаточный венец (все лопатки)	Горение
Колесо	Полочный бандаж	Расширение
Лопатка	Устройство крепления	
Камера сгорания		
Диск		
Вал		

Корисний ефект

Будь-яка технічна система створюється не заради неї самої, а для здійснення *корисного ефекту* (КЕ). Корисний ефект полягає у зміні (збереженні) цільових параметрів середовища-споживача.

$$EE = X_2^{c-n} - X_1^{c-n}. \quad (10.1)$$

Середовище технічної системи

Середовище – матеріальне утворення, яке є зовнішнім по відношенню до об'єкту, але з яким об'єкт взаємодіє. По відношенню з технічною системою середовище буває:

- 1) середовище-споживач (С-С);
- 2) середовище, що забезпечує процес (ЗП);
- 3) середовище, що сприяє розв'язанню поставленої задачі;
- 4) середовище, що перешкоджає розв'язанню задачі.

Кардинальні поняття аналізу машин

З точки зору філософії існують три групи поняття аналізу машин: загального, особливого, одиничного.

Таблиця 10.2 – Кардинальні поняття аналізу машин

Групи		
загального	особливого	одиночного
Будова	Аспект розгляду:	
	<i>Виріб</i>	Складальна одиниця (СО), деталь (МД)
	<i>Пристрій</i>	Функціональна одиниця (ФО), функціональна деталь (ФД), функціональний елемент (ФЕ)
	Рівень розгляду:	
	<i>Якісний</i>	Структура, ознаки геометричний і фізичний; конструктивна схема
	<i>Кількісний</i>	Параметри геометричний, фізичний
Функціонування	Генерація корисного ефекту	Принцип дії, компоненти середи, параметри: вхідний и цільовий, енергетичні втрати
	Управління процесом функціонування	Закон регулювання, параметри: режимний та керувальний
Стан	Характер проявлення:	Режим:
	<i>Стійкість</i>	номінальний, максимальний, часткового навантаження, зберігання
	<i>Змінюваність</i>	Запуск, розгін, гальмування тощо
	<i>Екстремальність</i>	Оптимальний, максимально допустимий, аварійний
	Якісні показники	Напруга, деформація, форма і частота коливань
	Вичерпання ресурса	Період експлуатації: припрацювання, нормальний режим
	Вичерпання життєвого циклу	Стадії: проектування, доводка, державні випробування, серійне виробництво, експлуатація, моральне старіння
Характеристики	Впізнаваність	Приналежність до типу, відмінність у будові
	Технічний рівень	Показник корисності, інтенсивність процесу
	Змінюваність станів	Залежність вихідних параметрів від режимних (паливо, початкові умови тощо)

Закінчення табл. 10.1

Групи		
загального	особливого	одиночного
Якість	Надійність	Показники безпеки, ресурс довговічності
	Техніко-економічна досконалість	Питомі параметри, ККД

$$МД_i^{(ст)} = G^{(ст)}(МД_i^{(ст)}, S_{МД_i});$$

$$CE_n^{(ст)} = G^{(ст)}(МД_1, МД_2, \dots, МД_n, S).$$

Структура об'єкта відображає склад елементів і характер відносин між ними.

$$МД_i^{(кач.)} = G^{(кач.)}(МД_i^{(ст)}, P_{МД_i}, \Gamma_{МД_i}) \equiv K_c(МД_i),$$

де $\Gamma_{МД_i}$ – зв'язок між ознакою і носієм;

$K_c(МД_i)$ – конструктивна схема;

\bar{x}_i – вектор параметрів.

Склад параметрів визначається конструктивною схемою.

$$МД_i = (МД_i^{(кач.)} \cup \bar{x}_i);$$

$$\Phi E_s = (\Phi E_s^{(кач.)} \cup \bar{x}_s).$$

ΦE самостійно не існує, не виготовляється, а є частиною деталі або сукупність деталей.

Закон побудови машин:

$$МД_i \rightarrow \exists \{ \Phi E_s \} | \cup \Phi E_s \supset МД_i.$$

Кожна деталь бере участь у матеріалізації множини ΦE , такого, що їх об'єднання виходить за межі цієї деталі.

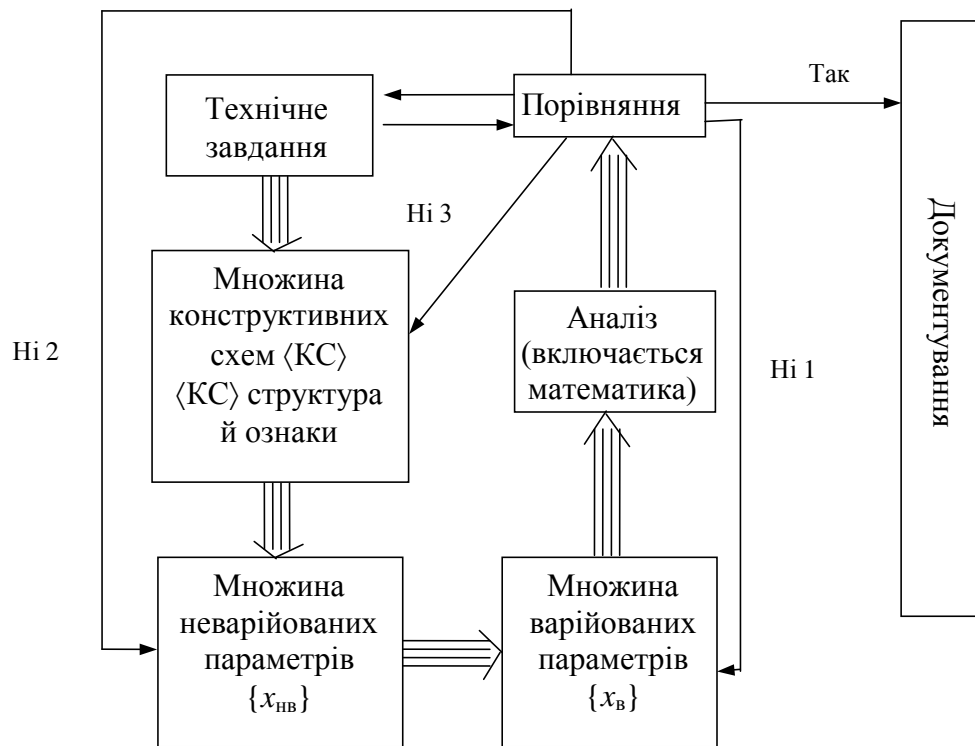


Рис. 10.2. Схема розв'язання задач стосовно до ФЕ і процесів:
 Ні 1 – параметрична оптимізація; Ні 2 – параметрична оптимізація зі зміною значень; Ні 3 – структурно-параметрична оптимізація (СПО)

Що таке конструкція технічного об'єкта, конструктивна схема Існує два погляди на поняття «конструкція».

1) Конструкція – це не об'єкт, а прообраз або об'єкт (результат проектування).

2) Конструкція відображає тільки будову і ніяких інших якостей не відображає.

Отже, можна дати таке визначення «конструкції».

Конструкція технічного об'єкта – це множина його допустимих будов.

$$K_{\text{ТО}} = \{[TO]\} = G^{(\text{кач.})} (TO^{(\text{ст})}, P_{\text{ТО}}, \Gamma_{\text{ТО}}) \cup \{\bar{x}_{\text{ТО}}^{(\text{ном.})}\} \cup \{[\Delta x_{\text{ТО}}]\},$$

де $[TO]$ – допустимі будови технічного об'єкта;

$P_{\text{ТО}}$ – склад ознак;

$\Gamma_{\text{ТО}}$ – зв'язок ознак;

$\bar{x}_{\text{ТО}}^{(\text{ном.})}$ – номінальні значення;

$[\Delta x_{\text{то}}]$ – допустимі відхилення параметрів.

Задача САПР – знайти конструкцію, причому оптимальну.

Схема розв’язання задач стосовно функціональних елементів і процесу

Етапи проектування деталі:

- 1) визначення конструктивної схеми, значень деяких параметрів, одержаних на підставі ескізного проектування;
- 2) визначення складу ФЕ, які матеріалізуються за допомогою цієї деталі, послідовність проектування цих ФЕ;
- 3) пошук допустимих (оптимальних) ФЕ (тут працює попередня схема);
- 4) визначення номінальних значень у холодному вільному стані;
- 5) формування технічних вимог до виготовлення деталей;
- 6) документування конструкції деталі;
- 7) подання деталі у вигляді просторової моделі (ПМ).

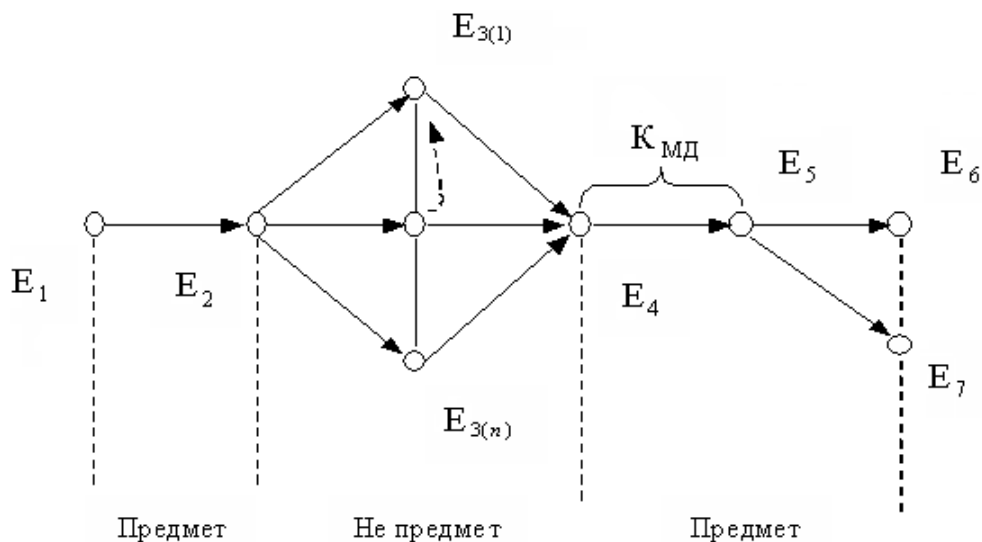


Рис. 10.3. Етапи проектування деталі

10.2. Класифікація задач конструкторського проектування

Основна задача – реалізація принципів проектів, одержаних на

етапі функціонального проектування. Основна група задач конструкторського проектування визначає суто геометричні параметри конструкції (параметри форми) – задачі геометричного проектування, інша група задач призначена для синтезу структури (топології) конструкції з урахуванням її функціональних характеристик – задачі топологічного проектування (рис. 10.4).

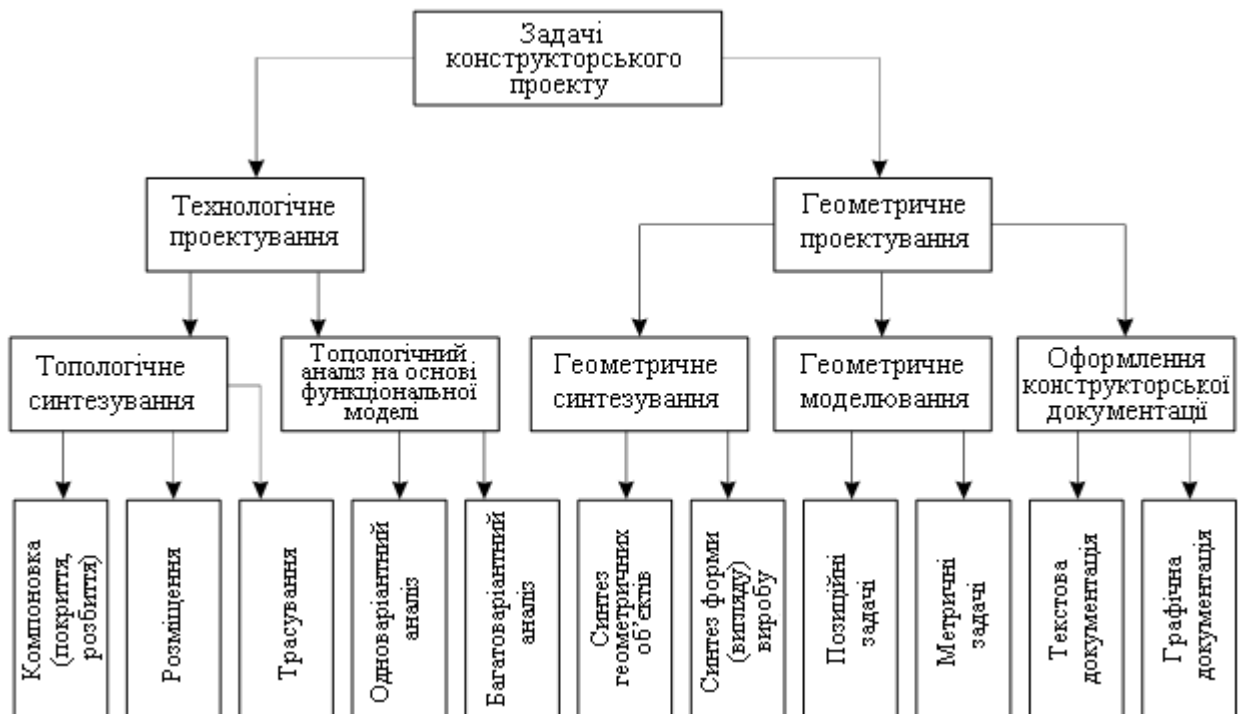


Рис. 10.4. Задачі конструкторського проекту

10.2.1. Геометричне і топологічне проектування

Задачі геометричного проектування включають:

- геометричне моделювання;
- геометричний синтез;
- оформлення конструкторської і технологічної документації.

Геометричне моделювання. Включає розв’язання позиційних і метричних задач на основі перетворення геометричних моделей. Елементарні геометричні об’єкти – точка, циліндр, пряма, коло, куля, площина і т.д. Позиційна задача – визначення координат точки перетину кривої з криволінійним контуром; – умовний перетин контурів;

(для перевірки гарантованих зазорів між деталями, при обробці деталей на верстатах і т.д.). Метрична задача – обчислення довжини, площі тощо.

Геометричний синтез включає розв'язання задач двох груп:

- задачі формування (компоновки) складних геометричних об'єктів (з деталювального креслення);
- отримання раціональної або оптимальної форми деталей, вузлів або агрегатів.

Задачі топологічного проектування включають:

- задачі компоновки (ескізна, робоча);
- задачі розміщення – оптимальне просторове розташування елементів конструкції;
- задачі трасування.

Трасування – проектна процедура, яка полягає у визначенні просторового розташування зв'язків (з'єднань, комунікацій) між елементами проектованої системи. Задачі трасування полягають у визначенні геометрії з'єднань конструктивних елементів.

Критерії трасування:

- мінімальна довжина з'єднань;
- мінімальна кількість шарів тощо.

Математичні моделі задач топологічного проектування.

1) Метод проб і помилок.

Суть методу:

Перший етап – формується гіпотеза.

Другий етап – перевіряється (за допомогою моделі або експерименту) якість запропонованого варіанта.

Якщо після першої проби не виходить, формується друге рішення, що враховує недоробки першого, і знову виконується перевірка. Підвищення ефективності пошуку забезпечується вживанням евристичних прийомів діяльності винахідництва (метод мозкового штурму та ін.).

2) Формальна постановка задач топологічного проектування.

Більшість задач топологічного проектування вдається формалізувати шляхом постановки у вигляді задач дискретного математичного програмування. Компоновка проектованих виробів на кожному ієрархічному рівні здійснюється за допомогою підбору модулів.

В обмеженому об'ємі необхідно розмістити задану множину елементів, пов'язаних між собою певним чином так, щоб забезпечити оптимізацію умов зв'язку і задовольнити заданій сукупності обмежень.

Алгоритм топологічного синтезу.

Алгоритм компоновки і розміщення включає алгоритми, що реалізують методи математичного програмування і комбінаторні алгоритми (гілок і меж, Гілмора, дискретне динамічне програмування на базі безперервно-дискретних методів оптимізації).

Алгоритм трасування включає алгоритми Пріма, розподільні – розподіл по шарах, геометричні – визначають геометрію з'єднань.

Геометричне моделювання і синтез.

Геометрична модель – сукупність відомостей, що однозначно визначають форму геометричного об'єкта.

Розрізняють:

- *аналітичні геометричні моделі* – представлені рівняннями, що описують контури або поверхні виробів;
- *геометричні моделі алгебри* – забезпечують завдання плоских фігур і тривимірних тіл логічними функціями умов;
- *канонічні геометричні моделі* – застосовують, коли в геометричних об'єктах вдається виділити параметри, які однозначно визначають їхню форму (наприклад, для кола – центр і радіус);
- *рецепторні геометричні моделі* – мають в основі наближене уявлення про об'єкт. В області рецепторів будуються прямокутні граfi або мережа. Кожна клинка – окремий рецептор. Кожний плоский або просторовий об'єкт може бути описаний двомірною або тривимірною матрицею, що складається з 0 і 1;
- *каркасні геометричні моделі* – використовують при описі поверхонь у прикладній геометрії.

10.2.2. Аналіз результатів конструкторського проектування на основі функціональних моделей

Конструкція ДВЗ як об'єкта проектування є складною системою, що базується на блоково-ієрархічному підході.

Основними задачами одноваріантного аналізу конструкції машин є розрахунок їхніх статистичних і динамічних вихідних параметрів.

Мета – розрахунок міцності, жорсткості тощо.

При багатоваріантному аналізі конструкції в основному використовуються статистичні й імітаційні моделі.

Статистичне моделювання застосовується під час оцінки погрішності позиціонування робочих агрегатів верстатів з ЧПУ.

Імітаційне моделювання використовується у випадку потреби обліку втрат продуктивності, пов'язаних з їх обслуговуванням.

Задачі автоматизації конструкторського проектування поділяються на топологічного і геометричного проектування. Формалізація задач топологічного проектування найбільш просто проводиться за допомогою теорії графів. Для автоматизації задач компоновання й розміщення в основному використовуються комбінаторні алгоритми й алгоритми, основані на методах математичного програмування. Для задач трасування застосовуються розподільні геометричні алгоритми.

Основи геометричного проектування складають геометричне моделювання і синтез. Геометричне моделювання включає розв'язання позиційних і метричних задач.

Найскладнішими задачами геометричного синтезу є задачі формування виду об'єктів проектування.

Оцінка результатів конструкторського проектування проводиться на основі функціональних моделей об'єктів проектування (одно- і багатоваріантний аналіз). Математичний опис конструкції елементів базується на блоково-ієрархічному підході до об'єктів проектування.

10.3. Організація взаємодії конструктора з ЕОМ

Основні тенденції розвитку САПР визначають переважний розвиток інтерактивних систем автоматизованого проектування. Центральне місце у таких системах займає діалог конструктор – ЕОМ. Організація діалогу забезпечується інформаційними, програмними і технічними засобами САПР.

При виборі технічних засобів САПР, що забезпечують інтерактивну взаємодію конструктора з процесом рішення, серед можливих альтернатив слід керуватися таким.

Використовувана ЕОМ повинна дозволяти організувати роботу певного числа користувачів (тобто задовольняти вимогам з продуктивності) в режимі розділення часу.

Термінальне устаткування, що використовується, повинне відповідати ергономічним естетичним вимогам і вимогам ефективності роботи.

До термінального устаткування можна віднести такі пристрої: пультову друкарську машинку, телетайп, алфавітно-цифровий і графічний дисплей, акустичні пристрої.

Вживання цих пристроїв обумовлено певним класом розв'язуваних задач в САПР. Сьогодні практично в усіх застосуваннях стає економічно не вигідним використання телетайпів і терміналів з посимвольним уведення-виведенням інформації. Дисплеї зі сторінковою обробкою інформації дозволяють підвищувати продуктивність роботи проектувальника.

Вживання графічних дисплеїв йде у напрямі подання терміналів як автономних систем зі спеціальними операційними системами управління роботою окремих апаратних і програмних компонент терміналу і взаємозв'язком терміналу з основною ЕОМ. Поява супермікро-ЕОМ, базису автономного комплексу наблизила комплекси за можливостями до міні-ЕОМ. Розвиток комплексів відбувається у двох напрямках розробки однопрограмних систем, розрахованих тільки на одного користувача, і мультипрограмних систем, розрахованих на одночасну роботу декількох користувачів, з реалізацією віртуальної пам'яті.

Для досягнення високої продуктивності систем, необхідної для одночасної роботи багатьох користувачів і з'єднання функціональних блоків системи, використовують різні канали, що об'єднують процесор, оперативну пам'ять і різні джерела інформації.

Схему одного з автономних термінальних комплексів наведено на рис. 10.5. У графічних терміналах для управління функціонуванням усіх компонент застосовують мікропроцесори; для обробки графічної інформації необхідні спеціалізовані процесори; до терміналу можуть підключатися пристрої пам'яті.

У цілому тенденції розвитку терміналів можуть бути охарактеризовані як рух у бік багатофункціональних систем з розподіленою об-

робкою інформації, заснованих на широкому використанні БІС.

Структурний склад комплексу можна варіювати залежно від рівня САПР, але навіть в одному рівні його конфігурація визначається тільки в умовах конкретної розробки на основі аналізу складу розв'язуваних задач.



Рис. 10.5. Схема автономного термінального комплексу

10.4. Імітаційне моделювання

Складність і різноманіття процесів функціонування проектованих технічних систем не завжди дозволяють одержувати для них адекватні математичні моделі, сформульовані у вигляді різних аналітичних співвідношень. Автоматизоване проектування у цих випадках базується на використанні методології імітаційного моделювання.

Імітаційне моделювання – метод дослідження, оснований на тому, що динамічна система, яка вивчається, замінюється її імітатором, і з ним проводяться експерименти з метою отримання інформації про

систему, що вивчається. Нагадаємо, що динамічними є такі системи, які змінюються в часі. Імітатори можуть бути реалізовані на ЕОМ, а також на гідродинамічних, механічних або електронних системах.

Важливе значення має експеримент, який може проводитися людиною або виконуватися автоматично як відповідно до наперед складеного плану, так і послідовно, коли цілі нового експерименту встановлюються на основі аналізу результатів проведених експериментів. Це має особливе значення у випадку реалізації імітатора на ЕОМ, зокрема, при автоматизованому проектуванні, коли складається програма імітатора, що є, у свою чергу програмою, функціонування проектного об'єкта.

При імітаційному моделюванні процесів не вимагається перетворювати аналітичні вирази у спеціальну систему рівнянь щодо шуканих величин. Для імітаційного моделювання характерне відтворення на ЕОМ явищ, описуваних математичною моделлю, зі збереженням їхньої логічної структури і послідовності чергування в часі.

Імітаційне моделювання реалізується моделювальним алгоритмом, відповідно до якого в ЕОМ імітується функціонування досліджуваної системи з урахуванням обраного рівня деталізації для отримання потрібних характеристик. Ці характеристики виводяться на друк і використовуються як прямі або непрямі результати проектування. Таким чином, у процесі імітаційного моделювання конструюється модель проектного об'єкта. На ній проводяться експерименти з метою вивчення закону функціонування і поведінки проектного об'єкта з урахуванням заданих обмежень і цільової функції.

Широко розповсюдженими є два підходи до організації імітаційних моделей. Перший підхід полягає в тому, що кожний елемент складної системи представляється у деякій стандартній формі, коли вже заготовлено програмні моделі – модулі. За допомогою спеціальних схем описуються взаємозв'язки між модулями і конструюється модель складної системи.

Другий підхід передбачає створення універсальної імітаційної моделі, яка може настроюватися на будь-який об'єкт заданого класу. Для цього необхідно, щоб структурні та функціональні характеристики, що відрізняють один об'єкт від іншого, не входили до структури

моделі і її опису, а були легко замінюваними початковими даними. В цьому випадку при підготовці до моделювання конкретного об'єкта із заданого класу програмування виявляється непотрібним.

Виходячи з принципу побудови імітаційних моделей всі їхні компоненти діють послідовно. Щоб провести в моделі одночасність декількох подій, що відбуваються в різних частинах реальної системи, необхідно побудувати певний механізм задавання часу в моделях. Існують два основні методи: фіксованого кроку і кроку до наступної події. Зокрема, при моделюванні засобів обчислювальної техніки, як правило, використовуються обидва методи.

До побудови моделювального алгоритму повинні бути вирішені всі принципові питання вибору математичного апарату дослідження. Для імітації процесів функціонування окремих елементів об'єкта і всього об'єкта в цілому повинні бути вибрані основні оператори, які ув'язуються між собою відповідно до формалізованої схеми досліджуваного процесу. До основних операторів належать обчислювальні (арифметичні) і логічні оператори, оператори формування реалізацій випадкових процесів і невідповідних величин, а також оператори рахунку.

Обчислювальні оператори, призначені для реалізації будь-яких обчислювальних функцій за допомогою системи арифметичних операцій, властивої системі команд моделювальної ЕОМ. Для виконання обчислювальних операторів необхідно чітко визначити, які величини повинні бути обчислені в результаті реалізації сформованого оператора, і забезпечити наявність до моменту початку роботи оператора всіх необхідних даних, одержуваних від інших операторів алгоритму.

Для імітації дії різних випадкових чинників на модельований процес необхідною є наявність операторів формування реалізацій випадкових процесів. Початковими даними для отримання цих операторів служать таблиці та генератори випадкових чисел.

Формування різних констант і невідповідних функцій часу принципово не відрізняється по суті від формування звичних обчислювальних операцій. Для підрахунку кількості різних модельованих об'єктів, що мають задані властивості, формуються оператори рахунку (лічильники). Результати, що видаються лічильниками, часто є початковими даними для логічних службових операторів, які забезпечують синхро-

нізацію моделювального алгоритму.

Логічні оператори призначені для перевірки справедливості заданих умов і вироблення ознак, що позначають результат перевірки.

Процес імітації включає велику кількість операцій, пов'язаних із формуванням, перетворенням і використанням реалізації випадкових подій, величин і процесів, тому результати моделювання також мають випадковий характер. Вони відображають випадкові поєднання діючих чинників, що складаються в процесі моделювання. Шукані величини при імітаційному моделюванні визначають у результаті статистичної обробки сукупностей даних певної кількості реалізацій процесу моделювання. Сукупність реалізацій виступає в ролі статистичного матеріалу при машинному експерименті, а оцінка параметрів – у ролі експериментальних даних, тому імітаційне моделювання іноді називають методом статистичного моделювання.

При автоматизованому проектуванні імітаційні моделі призначені для вивчення особливостей функціонування проєктованих структур, що складаються з різноманітних елементів (дискретних і безперервних, детермінованих і стохастичних тощо). Імітаційні програми будують за модульним принципом, при якому всі елементи системи описуються одноманітно у вигляді певної стандартної математичної схеми – модуля. Схеми й оператори сполучення модулів один з одним дозволяють будувати універсальні програми імітації, які повинні здійснювати введення і формування масиву початкових даних для моделювання, перетворення елементів системи і схем сполучення до стандартного вигляду, імітацію модуля і взаємодії елементів системи, обробку й аналіз результатів моделювання, а також управління моделлю. Модель проєктованого об'єкта повинна бути не така спрощена, щоб стати тривіальною, проте не настільки деталізується, щоб стати громіздкою в обігу.

Велику увагу при моделюванні приділяють вибору мовних засобів. У даний час існує велика кількість спеціалізованих мов моделювання, тому для визначення кращої мови при конкретних додатках виникають серйозні труднощі. Вибір мови програмування для опису імітаційних моделей у першу чергу визначається постановкою задачі, коли враховуються характеристики об'єкта моделювання, тип моделі,

умови проведення експерименту, що розробляється.

Мови моделювання сконструйовано так, що вони дозволяють описувати не тільки сам імітатор, але і допоміжні дії, які виконуються протягом експерименту, перш за все надходження вхідних даних та обробку результатів експерименту.

До мов моделювання висувають такі вимоги.

1. Семантика мови моделювання повинна мати також можливість, які дозволяють легко скласти модель імітованого процесу. Це означає, що хороша мова моделювання повинна давати користувачу можливість опису модельованого процесу відповідно до предметного мислення.

2. мова моделювання повинна мати зручні синтаксичні засоби для швидкого і простого опису модельованої системи. Формалізований опис модельованої системи мовою моделювання дозволяє виявити ряд властивостей системи, які важко знайти без формалізованого опису.

3. мова моделювання є зручним засобом імітації тільки тоді, коли всі роботи на реалізованій моделі (включаючи створення імітатора) автоматизовані настільки, що від користувача не вимагається спеціальних знань.

Деякі мови моделювання мають засоби, що дозволяють виконувати збір і обробку інформації автоматично, незалежно від цілей користувача. Наприклад, для черг автоматично розраховуються їхні максимальна і середня довжини або максимальний і середній періоди перебування в них елементів. Такі засоби полегшують користувачам проведення аналізу об'єктів, досліджуваних у рамках їх професій, при мінімальному досвіді програмування.

Схему організації процесу імітаційного моделювання при автоматизованому проектуванні приведено на рис. 10.6. На першому етапі формується мета проектування. Аналізуючи вимоги ТЗ на проектування, оцінюють складність проектного об'єкта і визначають найраціональніший шлях знаходження математичної моделі об'єкта проектування і її реалізації для цілей проектування – шляхом імітаційного моделювання, шляхом розв'язання задач математичного програмування тощо. На етапі формування імітаційної моделі здійснюється перехід від уявлень про реальну систему до абстрагування, до певної логіч-

ної схеми.

Підготовка даних полягає у виборі даних, необхідних для побудови моделі, і подання їх у відповідній формі. Трансляція полягає в перекладі опису моделі, представленого мовою високого рівня або мовою моделювання, на машинною мовою (компіляція, редагування

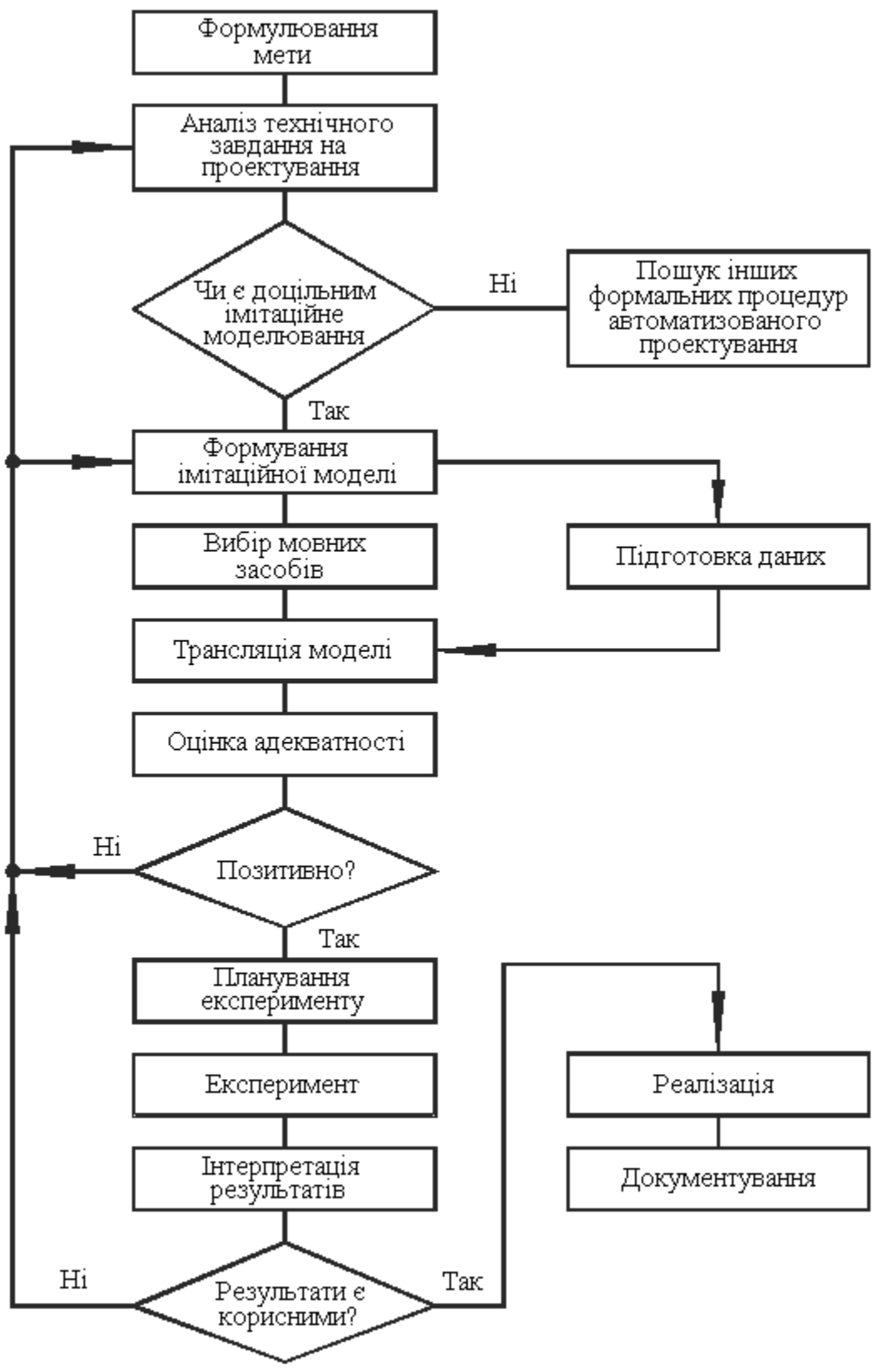


Рис. 10.6. Схема організації процесу імітаційного моделювання

об'єктних модулів, отримання завантажувальних модулів). Оцінка адекватності імітаційної моделі по об'єкту проектування проводиться на основі порівняння результатів моделювання з інформацією про спроектовану систему.

Плануючі експеримент складають план послідовності виконання процедур в імітаційному моделюванні й одержують оцінки результатів моделювання. Експериментування є процесом імітації з отриманням необхідних статичних даних, а також прямих і непрямих результатів проектування. Побудова висновків за даними, одержаним шляхом імітації, здійснюється на етапі інтерпретації.

Документування включає реєстрацію результатів моделювання і проектування. Реалізація має на увазі практичне використання моделі і результатів моделювання для цілей автоматизованого проектування.

Не зважаючи на переваги методу імітаційного моделювання, що дозволяє у принципі досліджувати структури і функціонування об'єктів будь-якої складності і на будь-якому рівні деталізації, метод має ряд недоліків, а саме: неможливість отримання аналітичних залежностей при одиничному випробуванні моделі, необхідність набору статистики для формальних і аналітичних залежностей, складність і трудомісткість розробки моделей.

Слід зазначити, що якщо задачу проектування можна звести до якої-небудь аналітичної моделі, то необхідність в імітаційному моделюванні відпадає.

10.5. Вибір базової системи проектування і виробництва для промислового підприємства

Про серйозні успіхи, до яких приводить використання комп'ютерної технології проектування і виробництва (КТПП) на провідних промислових підприємствах розвинених країн ми чуємо достатньо давно. Останніми роками ми дістали можливість використовувати новітні досягнення у сфері КТПП на українських підприємствах.

Що таке комп'ютерна технологія проектування і виробництва і які її переваги? Намагатимемося розібратися, що ж таке комп'ютерна технологія проектування і виробництва і що саме дозволяє підприємству одержати продукцію високої якості в найкоротші терміни.

Поняття КТПП має на увазі технологію створення продукції на базі програмного, технічного й організаційного комп'ютерного забезпечення сучасного виробництва.

Системи, про упровадження яких йде мова, – це найдосконаліші автоматизовані системи проектування і технологічної підготовки виробництва, що використовуються для створення складної машинобудівної продукції.

По-перше, це комплексні системи, що охоплюють весь цикл розробки продукції від задуму до серійного виробництва. Причому концептуальне проектування, конструювання, інженерний аналіз і технологічна підготовка виробництва нерозривно пов'язані.

По-друге, ці системи створюють умови для одночасної роботи всіх учасників проекту в режимі паралельного інжинірингу (*Concurrent Engineering*). Вони дозволяють не просто автоматизувати традиційний послідовний процес – конструювання, розрахунки, технологічну підготовку виробництва, – але і створити нову структуру організації процесу. Спільна робота конструкторів, розраховувачів і технологів істотно скорочує терміни очікування і час на внесення змін. Однозначність моделей і їх взаємна ув'язка, оптимізація конструкції за інтегральними функціональними, аналітичними і технологічними критеріями в процесі розробки виробу істотно підвищує якість. Друга сторона одночасної роботи дає можливість всім конструкторам працювати з єдиною моделлю виробу, забезпечуючи відсутність нестиківок і різночитань, гарантуючи високу точність деталей і складок, створення повного електронного опису виробу.

І, по-третє, ці системи спеціальним чином організовані і дозволяють управляти як структурою виробу, так і процесом його створення.

Висновок напрашується сам: КТПП – це перш за все спеціальна організація процесу, що реалізує переваги використовуваних програмних засобів і технічного оснащення, що підвищує в цілому конкурентоспроможність підприємства.

Які системи автоматизованого проектування і технологічної підготовки виробництва більшою мірою відповідають КТПП? Систем, що відповідають рівню КТПП, зовсім небагато. За останнім звітом Gartner Group, лідерами серед систем вищого рівня є *CATIA (Dassault*

Systems & IBM), *EUCLID* (*Matra Datavision*), *I-DEAS* (*SDRC*), *UNIGRAPHICS* (*Unigraphics Solutions*). *CADDS-5* не згадується у зв'язку з поглинанням фірми *Computervision* (*CV*), компанією *PTC*, яка її розробляє, а власна система *PTC – Pro/Engineer* – не розглядається, оскільки належить до класу *Challengers* і не може виконувати роль базової при створенні складної техніки. Серед вказаної четвірки всі системи відповідають ключовим вимоги КТПП, але, зрозуміло, різною мірою.

Особливої уваги заслуговує система *UNIGRAPHICS*. Нове сучасне ядро системи, базове твердотільне моделювання, концепція майстер-моделі, вбудована параметризація, унікальна система складань, тісний зв'язок із множиною найперспективніших аналітичних і технологічних спеціалізованих систем, стабільне провідне положення у сфері власної технологічної підготовки виробництва, найтісніший зв'язок з системою управління проектом *IMAN*, розробленою тією ж фірмою, що і *UNIGRAPHICS*, відкритість системи і високий темп її вдосконалення свідчать про перспективність системи.

Найближчий конкурент *CATIA* має більш тривалу історію і широкую інсталяційну базу, *UNIGRAPHICS* – значно більш сучасну основу, інтенсивний розвиток і відповідність найпрогресивнішої технології проектування і виробництва.

Вибір базової системи для підприємства – відповідальний крок. Створення складної техніки вимагає орієнтації на повномасштабні, багатofункціональні, високоорганізовані системи. Для того щоб визначити, використання якої системи буде найбільш ефективним, необхідно з'ясувати, яка із систем дає кращі можливості організації комп'ютерної технології проектування і виробництва.

Організація робіт із системою – це шлях від можливості отримання позитивних результатів до дійсного їх отримання. Так чому ж через рік після аналогічних закупівель одне підприємство підраховує збитки, а інше – прибуток від придбання?

Річ у тому, що сама система дозволяє, але не зобов'язує реалізувати переваги КТПП. Наприклад, в системі немає важелів, що вимушують користувачів працювати в режимі паралельного інжинірингу. Організація робіт із системою – це шлях від можливості отримання позитивних результатів до дійсного їх отримання.

Особливо ефективно технологія паралельного інжинірингу може бути реалізована в рамках єдиного проектно-виробничого інформаційного середовища, при створенні колективу співробітників різних служб, що працюють над єдиним проектом.

Але для українських підприємств тисячі автоматизованих робочих місць – поки в майбутньому. А одне робоче місце не принесе користі. Бажано почати з визначення найактуальнішої задачі, того «вузького місця», яке стримує весь процес, і з вживання системи на даній конкретній ділянці обов'язково з використанням її характерних переваг. Хай це буде збірка не всього виробу, а компоновка найскладнішого агрегату. Можливо, це буде проектування, аналіз і підготовка виробництва найскладнішої і відповідальної деталі. Важливо, щоб були задіяні ті функції, які ви не могли легко реалізувати без системи, що купується, або з використанням вже наявного програмного забезпечення. Тоді вам буде простіше оцінити результат комплексного використання системи, і перший досвід стане позитивним. Для кожного підприємства рішення може бути тільки індивідуальним. Знання систем і технологій повинне поєднуватися зі знанням організаційної і функціональної структур підприємства. Тоді можна розробити концепцію розвитку, окреслити перспективи і запропонувати конкретне стартове рішення.

Яка мінімальна кількість робочих місць дасть відчутний ефект? На яких ділянках можна одержати найшвидший результат? Як саме використовувати перші 10–20 комп'ютерів для отримання максимальної віддачі? Яку частку програмного забезпечення, закладеного в систему, задіювати в першу чергу? Як реалізувати взаємодію нових засобів з тими, що вже є на підприємстві? Яке необхідне технічне оснащення? Які структурні зміни бажані? Як мінімізувати фінансові витрати? Від якості рішення всіх цих і багатьох інших питань залежатиме ефективність вкладень у комп'ютерні технології.

Що ж необхідно для початку повномірного, раціонального й ефективного упровадження комп'ютерної технології проектування і виробництва з технічної точки зору?

- Проаналізувати технічну політику і технічну оснащеність підприємства. Визначити мету, позначити бажаний рівень розвитку.

Скласти концептуальну модель розвитку, визначити проміжні етапні задачі.

- Чітко розбиратися у новітніх комп'ютерних технологіях (*CE, CAPI, VPD, EPD, CALS, WAVE* тощо) і уміти визначати можливість їх реалізації в процесі використання програмного забезпечення.

- Досконально вивчити системи, що вживаються при проектуванні і виробництві. Знати їх особливості, уміти зіставляти переваги і недоліки, стежити за розвитком і систем, і фірм-виробників. Зробити правильний вибір базової системи і ряду спеціалізованих систем, об'єднати їх в цілісну структуру.

- Бачити систему КТПП як складову частину єдиної інформаційно-аналітичної структури підприємства.

- Бути хорошим фахівцем у галузі мережної інтеграції: розробити концепцію корпоративної мережі, підібрати оптимальний склад устаткування і побудувати мережу з максимальним використанням її ресурсів. Організувати операційне управління мережею, поєднуючи потрібну максимальну доступність з дотриманням необхідної секретності. Прогнозувати і враховувати можливість розвитку мережі і раціонально використовувати вже наявне устаткування.

- Необхідно бути фахівцем у питанні проведення перетворень на підприємстві. Уміти оцінити існуючі структури і процеси, визначити бажані і необхідні межі перетворень. Вибрати реальні засоби для досягнення поставленої мети. Провести реінжинеринг.

- Необхідно мати практичний досвід традиційного проектування, виробництва і управління, уміти організовувати групи фахівців, які знають вибрану систему, і представників вашого підприємства на період упровадження комп'ютерної технології, а також мати у своєму розпорядженні групу фахівців, здатних адаптувати придбане програмне забезпечення під ваші конкретні потреби.

Так, слід бути професіоналом у галузі інформаційних технологій або, що більш реально, працювати сумісно зі спеціалізованою, професійною компанією.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення виробу, пристрою і процесу.
2. Наведіть основні координальні поняття аналізу машин.
3. Що являє собою конструкція технічного об'єкта?
4. Назвіть основні етапи проектування деталі.
5. У чому полягають основні задачі конструкторського проектування?
6. У чому полягає аналіз результатів конструкторського проектування на основі функціональних моделей?
7. Чим керуються при виборі ТС САПР, що забезпечують взаємодію конструктора з процесом розв'язання?
8. У чому суть імітаційного проектування, його переваги і недоліки?
9. Наведіть схему імітаційного моделювання і поясніть її.
10. Назвіть основні передумови до вибору базової системи проектування і виробництва.

Лекція 11

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ПРОЕКТУВАННЯ

11.1. Етапи життєвого циклу (ЖЦ) виробу і діяльність щодо їх реалізації.

11.2. Призначення і сфера вживання CALS-технологій.

11.1. Етапи життєвого циклу (ЖЦ) виробу і діяльність щодо їх реалізації

Сучасний етап розвитку виробничих сил характеризується високим рівнем конкуренції між виробниками. Головним напрямом у конкурентній боротьбі стає не зниження собівартості продукції, а підвищення її якості і її максимальна відповідність конкретним вимогам конкретного споживача.

Таблиця 5.1 – Етапи життєвого циклу виробу і діяльність по їх реалізації

Етапи життєвого циклу	Діяльність
Задум і проектування	- Маркетинг - Формування портфеля замовлень
Виробництво	- Планування виробництва - Організація виробництва - Оперативне управління виробництвом
Експлуатація і ремонт	- Зберігання - Збут - Забезпечення і підтвердження відповідності виробу заданим характеристикам - Сервісне обслуговування
Утилізація	- Демонтаж - Переплавка - Захоронення

Процеси, що забезпечують життєвий цикл виробу, супроводжуються потужними інформаційними і матеріальними потоками. Для їх вивчення і управління слугує логістика. Логістика – наука про управління інформаційними і матеріальними потоками.

Весь обсяг інформації про виріб можна розподілити за етапами його життєвого циклу.

1. Конструктивні дані про виріб (КДВ) – сукупність інформаційних об'єктів, породжуваних в процесі проектування виробу. Містять відомості про склад виробу, геометричні моделі виробу, відносини компонентів у структурі виробу, допуски на виготовлення деталей тощо.

2. Технологічні дані про виріб – сукупність інформаційних об'єктів, породжуваних на стадії технологічної підготовки виробництва й асоційованих з конструкторськими даними про виріб. Містять відомості про способи виготовлення і контролю виробу та його компонентів, опис маршрутних і операційних технологій, норми часу і витрати матеріалу тощо.

3. Виробничі дані про виріб – сукупність інформаційних об'єктів, породжуваних у процесі виробництва, асоційована з КДВ. Містить відомості про статус конкретних екземплярів виробу і його компонентів у виробничому циклі (серія, номер серії, дата виробництва, місце зберігання).

4. Дані про якість виробу – сукупність інформаційних об'єктів, породжуваних при виконанні всіх видів контролю, асоційована з КДВ. Містить інформацію про ступінь відповідності конкретних екземплярів виробу і його компонентів заданим технологічним вимогам, вимогам стандартів та інших нормативно-технічних документів.

5. Логістичні дані – сукупність інформаційних об'єктів, породжуваних у процесі проектування і виробництва. Містить відомості, необхідні для інтегрованої логістичної підтримки виробу на постпродуктивних стадіях його життєвого циклу.

6. Експлуатаційні дані про виріб – сукупність інформаційних об'єктів, що містить необхідні відомості для організації обслуговування, ремонту й інших дій, що забезпечують працездатність виробу.

Необхідність ув'язки величезної кількості різномірної інформації викликало до життя нову інформаційну технологію – CALS-технологію.

Розшифровка CALS змінювалася з часом.

1985 рік – *Computer Aided Logistics Support* (Автоматизовані логістичні системи).

1988 рік – *Computer Aided Acquisition and Support* (Автоматизовані поставки і підтримка).

1993 рік – *Computer Aided Acquisition and Life-Cycle Support* (Автоматизація безперервних поставок і життєвого циклу).

1995 рік – *Commerce At Life Speed* (Бізнес у високому темпі).

Під CALS-технологією розуміється принципово нова комп'ютерна система електронного опису процесів розробки, комплектації, виробництва, модернізації, збуту, експлуатації, сервісного обслуговування й утилізації продукції військового, цивільного і подвійного призначення.

11.2. Призначення і сфера вживання CALS-технологій

CALS-технології призначені для вживання у різних сферах:

- у виробництві промислової продукції;
- у банківській діяльності;
- в охороні здоров'я;
- будівництві тощо.

Для забезпечення взаєморозуміння розробників, постачальників матеріалів і комплектуючих виробів, виготівників і споживачів продукції, що застосовують системи електронного обміну даними, розроблено комплекс міжнародних стандартів за CALS-технологіями.

Існуючі сьогодні в промисловості технології належать до певних етапів ЖЦВ (конструювання, розробка технології, планування виробництва і т.п.). При цьому відсутня можливість інформаційної взаємодії між ними. Витрати, що виникають при цьому, західними аналітиками оцінюються для США в десятки мільйонів доларів на рік.

Упровадження міжнародних стандартів щодо CALS-технологій дозволяє інтегрувати в одну систему комплекс матеріальних та інформаційних потоків, існують на всіх етапах життєвого циклу.

Концепція CALS-технологій на першому етапі її розробки полягала в уніфікації й об'єднанні різнотипних комп'ютерних мереж промислових корпорацій з метою створення глобальної системи закупівель і матеріально-технічного постачання, що використовується при створенні складної машинотехнічної продукції, у тому числі озброєння і військової техніки. У ході виконання програми реалізації

CALS-технологій її первинний задум істотно трансформувалася і в даний час перетворився на інструмент комп'ютерного проектування, виробництва, поставок, експлуатації складних технічних виробів, а також профілактичних і ремонтних робіт у процесі їх експлуатації.

Одна з основних ідей CALS – це можливість включення опису всіх видів виробів в єдину загальну структуру, що допускає обробку різних типів даних і породжених похідних описів властивостей виробів в цій єдиній структурі.

Сьогодні в CALS виділяють такі напрями:

- методи аналізу бізнес-процесів;
- методи і засоби паралельного проектування;
- технології логістики;
- практичне використання технологій Інтернет;
- електронна документація на виріб;
- інформаційна безпека;
- уніфікована модель виробу від проектування до утилізації (ISO 10303-STEP);

– юридичні питання інформаційної взаємодії підприємств.

Цілі використання CALS-технологій:

- скорочення витрат на реалізацію ЖЦВ в цілому;
- підвищення ефективності та скорочення витрат у бізнес-процесах;
- підвищення конкурентоспроможності і ринкової привабливості виготовлюваної продукції;
- створення передумов для збереження і розширення ринків збуту.

Основною стратегією розробки й упровадження CALS є створення єдиної індустріальної інформаційної інфраструктури. При цьому пріоритет віддається розробці міжнародних стандартів, підготовка й ухвалення яких проводиться через міжнародний комітет зі стандартизації (ISO). Потім ці стандарти адаптуються в кожній державі на законодавчому рівні.

Існують такі типи стандартів.

1. Функціональні стандарти (ФС) – визначають процеси та їх взаємозв'язки, виходячи з цільових потреб користувача. ФС включають описи інформаційного змісту процесів (функцій) конкретних проблемних галузей, що формують вимоги до інформації, необхідної для реалізації цих процесів.

Приклад. MIL-HDBK-99 – «Керівництво за програмою вживання комп'ютерного забезпечення і технологічного устаткування міністерства оборони» (США).

2. Технічні стандарти (ТС) – пропонують загальний набір правил для цифрового обміну інформацією.

Приклад. ISO 9660 і MIL-SID-1840B.

3. Інформаційні стандарти управління (ІСУ) – дають загальне визначення інформаційних елементів, атрибутів, відносин, захисту даних і досяжності даних.

Приклад. SGML, STEP, CGM.

Стандарти CALS забезпечують єдине подання тексту, графіки, інформаційних структур і даних про проект, виробництво і супровід. Також CALS-стандарти забезпечують єдиний інтерфейс до інформації прикладних програм.

З середини 80-х років багато країн вели і ведуть у рамках ISO роботи зі створення міжнародного стандарту з опису, передачі і зберігання даних про виріб, а також програмних інструментів, що забезпечують підтримку такого стандарту.

Якнайкраще рішення у цій галузі реалізовано у фундаментальному стандарті CALS-ISO 10303 (неофіційна назва *STEP – Standart Exchange Product Model Data*).

Мета стандарту – надати нейтральний механізм опису даних про продукт на всіх стадіях його життєвого циклу.

На сьогоднішній день STEP забезпечує обмін інформацією між CAD/CAM-системами і системами управління проектами й охоплює:

- з точки зору технології – механообробку й електроніку;
- з точки зору етапів ЖЦ – етап проектування;
- з точки зору опису властивостей виробу – геометрію (форму і розміри).

Основними компонентами *STEP* є такі.

1. Мова *Express* – це мова інформаційного моделювання, призначена для опису структури інформаційної моделі та обмежень, що накладаються. Мова забезпечує опис інформаційних сутностей (об'єктів), їхніх атрибутів і зв'язків.

2. Стандартні рішення – структура фізичного *ASCII*-файлу для зберігання моделі (так званий «обмінний файл»).

3. Базові інформаційні моделі – готові *Express* схеми для різних прикладних областей. Для спеціальних додатків можуть бути розроблені свої схеми, і така робота в рамках ISO ведеться постійно.

Контрольні запитання

1. Що є життєвим циклом виробу?
2. Назвіть етапи життєвого циклу виробу.
3. Що розуміється під CALS-технологією? Для чого вона призначена?
4. Назвіть основні напрями CALS?

Лекція 12

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

12.1. Необхідність автоматизації експериментальних досліджень.

12.2. ВОК «Дизель».

12.1. Необхідність автоматизації експериментальних досліджень

Джерелом похибок проектних рішень САПР є допущення, прийняті в основу математичних моделей, що описують фізичні процеси в двигуні, неточність задавання початкових даних для розрахунку та ін. Доведення проектних рішень до вимог технічного завдання здійснюється шляхом коректування параметрів у процесі проведення натурних випробувань, які є завершальною стадією проектування двигуна і дозволяють здійснити зворотний зв'язок під час доробки окремих систем, вузлів і деталей. Тому експеримент був і залишається відправною точкою і критерієм оцінки більшості одержуваних розрахунків.

Експеримент на ДВЗ є достатньо трудомістким і тривалим (близько 80% загального обсягу робіт зі створення двигуна припадає на експериментальні роботи). Тому при розробці САПР ДВЗ велику увагу слід приділяти автоматизації натурального експерименту, яку можна здійснити, якщо вдасться формалізувати не тільки обробку результатів, але і вибір умов і сам процес випробувань. Така можливість з'являється у випадку використанні математичних методів планування багаточинникового експерименту і вживання обчислювальних машин для проведення дослідів.

Ускладнення конструкцій двигунів внутрішнього згорання призводить до того, що експериментальне дослідження їх роботи пов'язане, як правило, з одночасною реєстрацією багатьох параметрів. Не менш трудомісткою задачею є подальша обробка результатів вимірювань. До недавнього часу експериментальне дослідження двигунів зводилося до запису вихідних сигналів аналогових і цифрових прила-

дів у протокол з подальшою їх ручною обробкою.

На межі 70–80-х рр. минулого століття з'явився новий напрямок у розвитку вимірювальної техніки – інформаційно-обчислювальні комплекси (ІОК), які виконують операції отримання великої кількості вимірювальної інформації, її перетворення, передачі, обробки, подання у різній формі, а також управління ходом експерименту без втручання людини.

Типову структурну схему ІОК наведено на рис. 12.1. До складу ІОК входять датчики, пристрій сполучення, ЕОМ з периферійними пристроями введення-виведення інформації і зовнішньої пам'яті, пристрої подання і реєстрації інформації, а також пристрої управління об'єктом дослідження.

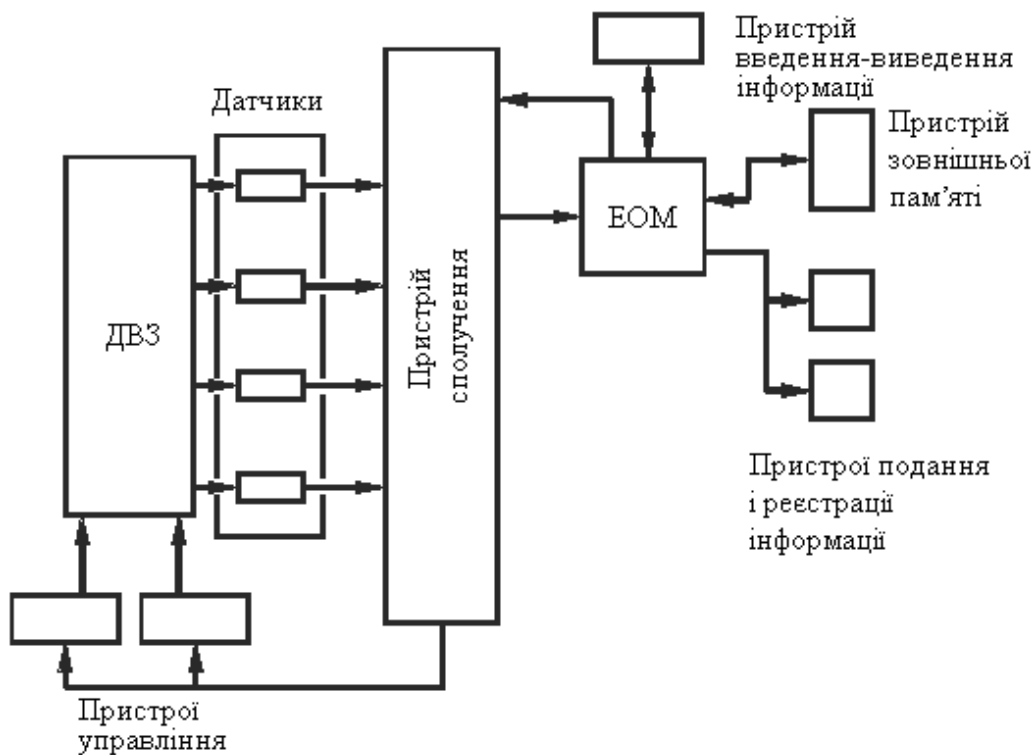


Рис. 12.1. Типова структурно схема ІОК

Сьогодні під час експериментальних досліджень ДВЗ застосовують ІОК двох варіантів: ІОК з пристроєм сполучення (інтерфейсом) у стандартах КАМАК (САМАС – найменування стандарту і стандартного пристрою сполучення, розробленого представниками ряду ядерних

лабораторій євроатома під егідою Європейського комітету зі стандартизації в ядерній електроніці в 1969 р.) та ІОК з машинним інтерфейсом і використанням уніфікованих функціональних вузлів.

Основними конструктивними складовими в інтерфейсі КАМАК є каркас (крейт) і вставний модуль. Модулі ділять на дві групи: функціональні та керувальні (контролери). Функціональні модулі є ІП, мають стандартизовані розміри, напруги живлення, уніфіковані вихідні сигнали.

ІОК з інтерфейсом КАМАК дозволяє розв'язувати будь-яку задачу автоматизації експериментального дослідження ДВЗ, але модулі і все устаткування в цілому мають порівняно високу вартість. Такі ІВК доцільно використовувати в крупних науково-дослідних центрах під час створення універсальних комплексних систем автоматизації експериментальних досліджень, призначених для розв'язання складних, але одиничних задач.

Для систем автоматизації експерименту, що використовуються на рівні окремих установок, при рішенні специфічних, але часто повторюваних задач доцільно застосовувати ІОК з машинним інтерфейсом і уніфікованими функціональними вузлами. До таких ІОК належать комплекси К-750, К-754, К-755, К-756. Вони, на відміну від ІОК з інтерфейсом КАМАК, є більш простими, орієнтованими на стандартний машинний інтерфейс, що при збереженні переваг магістрально-модульного принципу побудови ІОК дає можливість значно знизити їхню вартість. Вітчизняні ІОК з використанням уніфікованих функціональних вузлів орієнтовані на машинний інтерфейс И-41 (мікро-ЕОМ СМ-18000, СМ-1810 і їх подальші модифікації). ІОК К-755, наприклад, призначені для автоматизації типових випробувань, включають процесор мікро-ЕОМ СМ-1800, модулі введення стандартних аналогових сигналів (з термопар, терморезисторів, тензодатчиків), модулі введення дискретних сигналів, модулі виведення ініціативних сигналів, модулі виведення керувальних сигналів.

12.2. ВОК «Дизель»

Вимірювально-обчислювальний комплекс «Дизель» створений для експериментальних досліджень ДВЗ і виконує такі функції: вимірювання параметрів ДВЗ і його агрегатів за допомогою спеціальних

датчиків, встановлених на ДВЗ (і його агрегатах); вимірювання робочих процесів, що швидко відбуваються, у ДВЗ і його агрегатах; обробку експериментальних даних засобами персонального комп'ютера (що входить до складу комплексу ВОК «Дизель») з використанням спеціального програмного забезпечення; візуальне подання вимірювальної інформації, результатів її обробки й аналізу в графічному і табличному вигляді на екрані кольорового дисплея входить до складу комп'ютера ВОК «Дизель»; виведення на друк результатів вимірювань і оброблених даних в графічному і табличному вигляді за допомогою друкувального пристрою (принтера); архівація і копіювання експериментальних даних і результатів їх обробки (у вигляді файлів) всіма засобами персонального комп'ютера.

Реєстрація контрольованих параметрів процесів у двигуні проводилася за допомогою розробленого вимірювального комплексу «Дизель» із записом процесів на жорсткий диск ЕОМ, що входить до комплексу. На АЦП комплексу подаються сигнали з тензодатчика тиску газів в циліндрі двигуна, п'єзодатчика тиску палива перед форсункою, фотоелектричного датчика підйому голки форсунки, датчиків проходження поршнем ВМТ та УПКВ.

Вимірювальний комплекс призначений:

- для вимірювання параметрів двигуна внутрішнього згорання і його агрегатів під час проведення стендових випробувань;
- для проведення досліджень робочих процесів, що швидко відбуваються, у ДВЗ і його агрегатах;
- ВОК «Дизель» функціонує у вигляді багатоканальної вимірювальної й обчислювальної системи збору інформації (на базі ПЕВМ) і комплекту датчиків, встановлених на ДВЗ у контрольних точках виміру.

ВОК «Дизель» виконує такі функції:

- вимірювання параметрів ДВЗ і його агрегатів за допомогою спеціальних датчиків, встановлених на ДВЗ (і його агрегатах);
- вимірювання робочих процесів, що швидко відбуваються, у ДВЗ і його агрегатах;
- обробка експериментальних даних засобами персонального комп'ютера (що входить до складу комплексу «Дизель») з використанням спеціального програмного забезпечення;

- візуальне подання вимірювальної інформації, результатів її обробки й аналізу в графічному і табличному вигляді на екрані кольорового дисплея, що входить до складу комп'ютера ВОК «Дизель»;

- виведення на друк результатів вимірювань і оброблених даних у графічному і табличному вигляді за допомогою друкувального пристрою (принтера);

- архівація і копіювання експериментальних даних і результатів їх обробки (у вигляді файлів) всіма засобами персонального комп'ютера.

ВОК «Дизель» забезпечує вимірювання таких параметрів:

1) Вимірювання низького і високого тиску газів і рідин:

- тиск у циліндрі ДВЗ;
- тиск у паливопроводі високого тиску (ТНВТ);
- тиск у впускному і у випускному колекторі;
- тиск перед компресором;
- тиск наддуву (після компресора);
- тиск картерних газів.

2) Вимірювання кута повороту колінчастого вала (КПКВ).

3) Фіксація положення поршня у верхній мертвій точці (ВМТ).

4) Вимірювання робочого ходу голки форсунки.

5) Вимірювання температур газу, рідини.

На комп'ютері комплексу встановлено спеціально розроблене програмне забезпечення *PPTest*, яке являє собою відкриту програмну платформу, що перетворює комп'ютер на зручний інструмент для виконання повного циклу робіт з вимірювальною інформацією.

Основні можливості програмного забезпечення *PPTest*:

- фіксація сигналів з фіксованої кількості датчиків із заданою частотою;

- подання одержаних експериментальних даних у графічному і табличному вигляді по куту повороту колінчастого вала (індикаторні діаграми й осцилограми);

- перерахунок діаграми по ходу поршня;

- обробка індикаторної діаграми:

- визначення середнього індикаторного тиску;
- визначення характеристики тепловиділення;

- визначення поточної температури робочого тіла в циліндрі;
- розрахунок середнього індикаторного тиску;
- визначення швидкості наростання тиску;
- визначення диференціальної і інтегральної характеристик упорскування палива.

Технічні дані ВОК «Дизель» наведено у табл. 12.1.

Таблиця 12.1 – Технічні дані ВОК «Дизель»

№	Найменування параметра	Значення	Примітка
1	Кількість вимірювальних каналів ВОК «Дизель», що підключаються одночасно до ДВЗ і його агрегатів. Кількість датчиків, що підключаються одночасно до ДВЗ та його агрегатів	10	Дана кількість каналів дозволяє розв'язати будь-яку задачу з вимірювання параметрів ДВЗ
2	Швидкість вимірювання параметрів ДВЗ за 10 каналами одночасно при частоті обертання колінчастого вала до 2000 хв^{-1}	0,1 градус кут повороту КВ	Дане розділення дозволяє проводити дуже тонкі дослідження
3	Діапазон вимірюваних параметрів ДВЗ		Значення визначаються характеристиками датчиків
4	Тиск газів у ДВЗ та його агрегатах	0–500 МПа	
5	Хід голки форсунки системи паливоподачі	0–0,5 мм	
6	Кут повороту колінчастого вала	0–720 градусів	
7	Сумарна похибка вимірювання сигналів датчиків	0,1 %	Похибка датчиків не враховується
8	Тип використовуваних первинних перетворювачів (датчиків): – датчики тиску газів та рідини; – датчик переміщення (хід голки форсунки); – датчик контролю кута повороту колінвала; – датчик визначення положення ВМТ; – датчики температури	п'єзодатчики, тензодатчики, індуктивний датчик, оптичний датчик, термомпари	Можна підключати до комплексу датчики різних фірм

9	Час обробки даних, що поступають, на комп'ютері	0,2 секунди	Через 0,2 секунди індикаторну діаграму видно на екрані дисплея
---	---	-------------	--

Закінчення табл. 12.1

№	Найменування параметра	Значення	Примітка
10	Час зберігання вимірювальної інформації в комп'ютері	не обмежено	На «вінчестері» ПК, CD-дисках і на дискетах
11	Технічні засоби подання інформації у графічному і табличному вигляді	дисплей принтер	На екрані кольорового дисплея будь-якого формату; друк на папері будь-якого формату
12	Напруга електроживлення комплексу від мережі перемінного току	190–250 В 50–60 Гц	
13	Тривалість безперервної роботи комплексу	не обмежено	
14	Діапазон робочих температур устаткування комплексу, розташованого біля ДВЗ (без датчиків)	–8...+50 °С	Датчики мають більш широкий діапазон
15	Діапазон робочих температур устаткування комплексу, розташованого на робочому місці оператора	+5...+40 °С	

Вимірювально-обчислювальний комплекс «Дизель» функціонує на базі персонального комп'ютера (ПК) типу IBM PC зі спеціальним програмним забезпеченням і включає комплект вимірювальної апаратури з комплектом датчиків. Спеціальне програмне забезпечення для персонального комп'ютера орієнтоване на російськомовного користувача і працює під операційною системою *Windows*.

Програма забезпечує повний цикл вимірювання, обробки, зберігання і подання вимірювальної інформації на дисплеї ПК у графічному і табличному вигляді.

Принцип роботи ВОК «Дизель» за структурною схемою наведено на рис. 12.2.

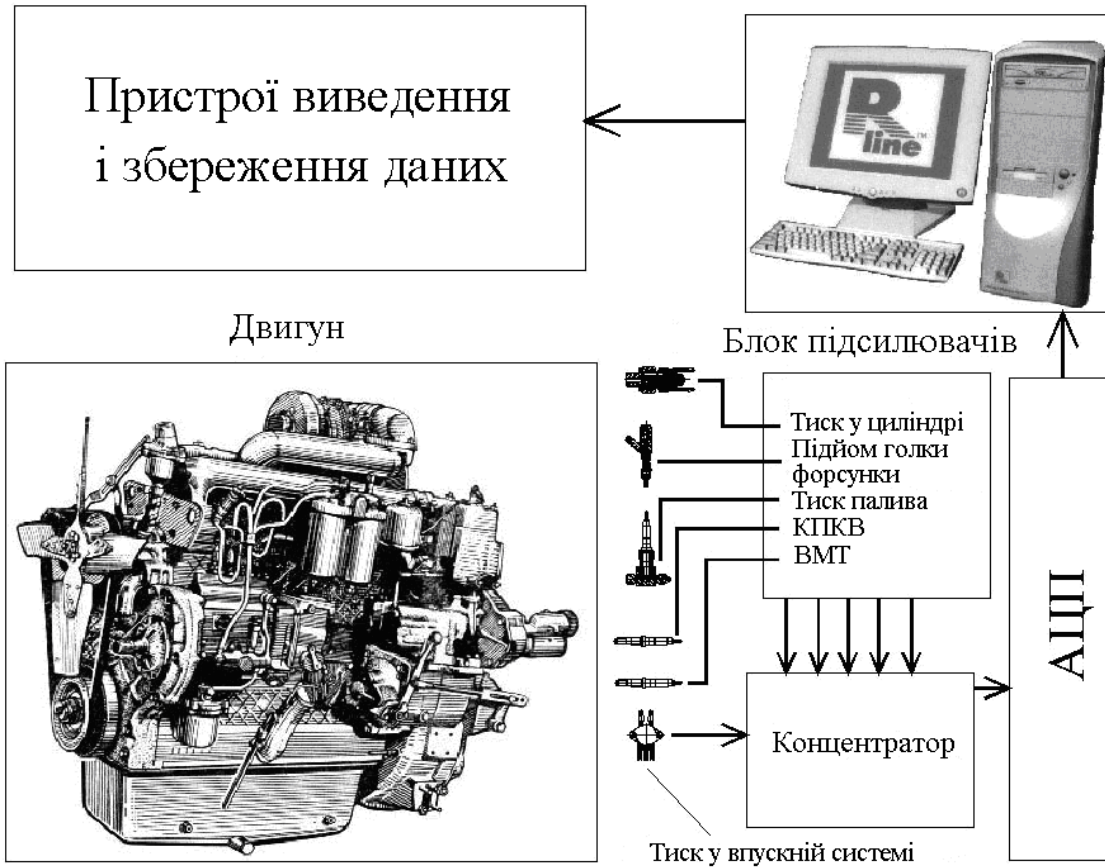


Рис. 12.2. Структурна схема ВОК «Дизель»

Вимірювальні перетворювачі (датчики), встановлені на ДВЗ, перетворюють контрольовані параметри робочого процесу ДВЗ в електричні сигнали. Ці сигнали по кабелях завдовжки 2–3 м поступають на вимірювальні входи підсилювачів сигналів датчиків (ПСД). Конструкція корпусу ПСД, його невеликі габаритні розміри і вага дозволяють розташувати ПСД разом з блоком живлення (БЖПСД) на гнучкій підвісці безпосередньо біля ДВЗ на відстані 1–2 м, що покращує перешкодзахист всієї вимірювальної системи ВОК «Дизель». Електричні сигнали з блока ПСД через перехідний блок поступають по кабелю на АЦП вимірювально-обчислювального пристрою ПК. Вимірювально-обчислювальний пристрій (ВОП ПК) виконано на базі системного блока комп'ютера з модулем введення аналогових сигналів і є апаратно-програмним засобом багатоканального збору й обробки сигналів, що поступають від датчиків, а також виведення одержуваних резуль-

татів обробки на пристрої відображення – дисплей і принтер (рис. 12.3).

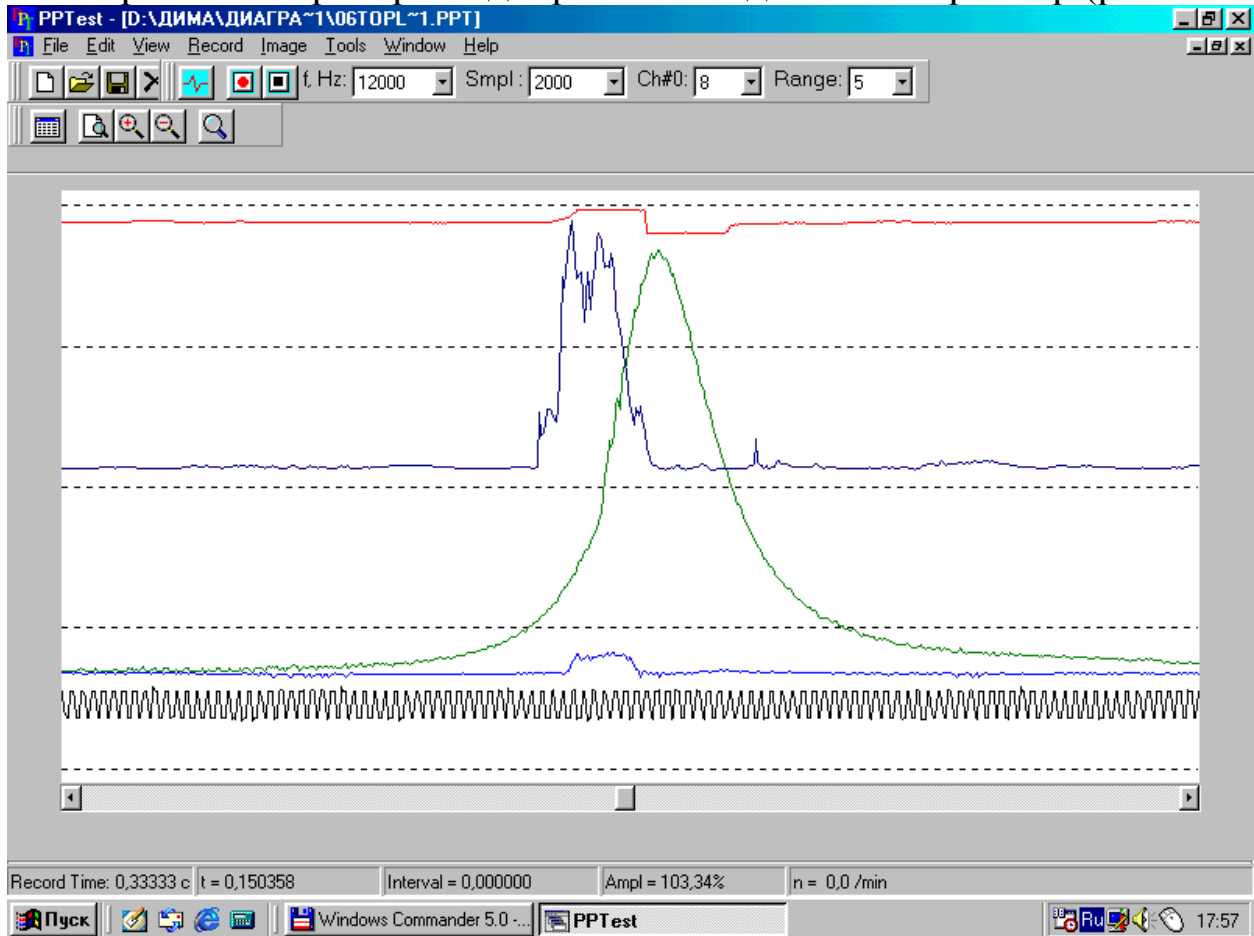


Рис. 12.3. Копія екрана процедури діагностики дизеля СМД 18Н за діаграмами в циліндрі і системі паливоподачі

При дослідженні робочих процесів ДВЗ, для синхронізації всіх вимірювань за кутом повороту КВ, використовується датчик кута повороту КВ (КПКВ), встановлений на маховик колінчастого вала ДВЗ, і датчик ВМТ колінвала. Датчик КПКВ і ВМТ виробляють електричні синхроімпульси пропорційно куту повороту КВ і положенню ВМТ. За сигналами цих датчиків синхронізується процес вимірювання сигналів всієї решти восьми датчиків.

Настройка апаратної частини комплексу, збір сигналів, що поступають від датчиків їх вимірювання, аналіз, обробка, відображення (на дисплеї) і документування одержаної інформації визначається спеціальним програмним забезпеченням, що входить до складу ІВУПК.

Перенастроювання комплексу з одного виду випробувань на інше здійснюється шляхом установки датчиків у відповідних точках контролю і зміни програми роботи комп'ютера. Управління комплексом ІВК «Дизель» виконується одним оператором шляхом введення відповідних команд з клавіатури ВОП ПК.

Контрольні запитання

1. Що є життєвим циклом виробу?
2. Назвіть етапи життєвого циклу виробу.
3. Що розуміється під CALS-технологією? Для чого вона призначена?
4. Назвіть основні напрями CALS?

ЛІТЕРАТУРА

1. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1980. – 311 с.
2. Корячко В.П. и др. Теоретические основы САПР: Учебник для вузов / В.П. Корячко, В.М. Курейчик, И.П. Норенков. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.
3. Сольнищев Р.И. Автоматизация проектирования систем автоматического управления. Учебн. для вузов по спец. «Автоматика и упр. в техн. системах». – М.: Высш. шк., 1991. – 335 с.
4. Шпур Г., Краузе Ф.–Л., Автоматизированное проектирование в машиностроении. / Пер. с нем. Г.Д. Волковой и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева, В.П. Диденко. – М.: Машиностроение, 1988. – 648 с.
5. САПР изделий и технологических процессов в машиностроении. / Р.А. Аллик, В.И. Бородянский. А.Г. Бурин и др.; Под общ. ред. Р.А. Аллика. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 319 с.
6. САПР: формирование и функционирование проектных модулей. / О.Л. Смирнов, С.Н. Падалко, С.А. Пилявский. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
7. Справочник по САПР / А.П. Будя, А.Е. Кононюк, Г.П. Куценко и др.; Под ред. В.И. Скрухина. – К.: Техника, 1988. – 375 с.
8. Элементы системы автоматизированного проектирования ДВС: Алгоритмы прикладных программ: Учеб. пособие для студентов вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Р.М. Петриченко, С.А. Батулин, Ю.Н. Исаков и др.; Под общ. ред. Р.М. Петриченко. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 328 с.
9. Гельмерих Р., Швиндт П. Введение в автоматизированное проектирование. / Пер. с нем. Г.М. Родова, Я.Е. Львовича; Под ред. В.Н. Фролова. – М.: Машиностроение, 1990. – 170 с.
10. Автоматизация проектирования и производства в машиностроении / Под ред. Ю.М. Соломенцева, В.Г. Митрофанова. – М., 1986.
11. Аронов Б.М. О технологии автоматизированного проектирования конструкций деталей машин // Управляющие системы и машины. – 1985. – № 1. – С. 29-34.

12. Норенков И.П. Принципы построения и структуры САПР. – М., 1986.

13. Разработка САПР. в 10 кн. Кн. 1. Проблемы и принципы создания САПР. Практич. пособие / А.В.Петров, В.М.Черненко; Под ред. А.В.Петрова. – М.: Высш. шк., 1990.

14. Соболев И.М., Статников О.И. Выбор оптимальных параметров с задачами со многими переменными. – М.: Наука, 1981. – 136 с.

Зміст

Вступ.....	3
Лекція 1. ПРОЕКТУВАННЯ. ФУНКЦІЇ І ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ	6
Лекція 2. СТРУКТУРНА СХЕМА САПР ДВЗ. ЇЇ СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ І ПІДСИСТЕМИ.....	18
Лекція 3. ОСНОВИ ПОБУДОВИ САПР ДВЗ	38
Лекція 4. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР	54
Лекція 5. ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ (ТЗ) ПРОЕКТУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕНЬ	80
Лекція 6. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР	93
Лекція 7. ЛІНГВІСТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР	105
Лекція 8. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САПР	112
Лекція 9. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ САПР	121
Лекція 10. АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУКТОРСЬКОГО ПРОЕКТУВАННЯ	131
Лекція 11. НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ І ЗАСОБИ ПРОЕКТУВАННЯ	154
Лекція 12. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	160
Література	170

Навчальне видання

ВОРОНКОВ Олександр Іванович
ЄФРЕМОВ А А

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ДВЗ (САПР ДВЗ)

Частина 1. Теоретичні основи САПР

Конспект лекцій

Відповідальний за випуск *Ф.І. Абрамчук*

Редактор *О.Ю. Цигінова*

Комп'ютерна верстка *Ю.В. Жовтяк*

План 2007, поз. 16.

Підписано до друку 2007 р. Формат 60×84 1/16.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Віддруковано на різнографі.

Умовн. друк. арк. . Обл.-вид арк. .

Замовлення № /07. Тираж прим. Ціна договірна.

ВИДАВНИЦТВО

Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

**Видавництво ХНАДУ, 61200, Харків-МСП, вул. Петровського, 25.
Тел. /факс: (057)700-38-64; 707-37-03, e-mail: rio@khadi.kharkov.ua**

*Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення
та радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції, серія № ДК №897 від 17.04 2002 р.*