



М.В. Коваль
А.О. Власов

ОСНОВИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Конспект лекцій

*для студентів ЗГІА
спеціальності 7.090218 “Металургійне обладнання”
денної та заочної форм навчання*

**Запоріжжя
2006**

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

ОСНОВИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Конспект лекцій

*для студентів ЗГИА
спеціальності 7.090218 “Металургійне обладнання”
денної та заочної форм навчання*

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри МО,
протокол № від 2006 р.*

Основи автоматизованого проектування технологічного обладнання.
Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090218 “Металургійне обладнання” денної та заочної форм навчання /Уклад.: Н.В. Коваль, А.А. Власов.
– Запоріжжя, 2006. – 160 с.

Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090218 “Металургійне обладнання” денної та заочної форм навчання

Укладачі: *М.В. Коваль, доцент*
А.О. Власов, асистент

Відповідальний за випуск : *зав. кафедри МО*
професор А.Я. Жук

ЗМІСТ

Вступ.....	8
ГЛАВА 1. СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА ПРОЦЕС І ОБ'ЄКТ ПРОЕКТУВАННЯ	10
1.1 Проектування як вид трудової діяльності.....	10
1.2 Історія розвитку методів проектування	11
1.3 Процедурна модель проектування і інженерне прогнозування	13
1.4 Принципи і завдання проектування.....	20
1.5 Рівні, аспекти і етапи проектування	22
1.6 Математична модель об'єкту проектування	30
1.7 Методи пошуку технічних рішень.....	31
1.8 Основні поняття про якість і патентну чистоту об'єктів нової техніки.....	34
ГЛАВА 2. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ОСНОВ КОНСТРУЮВАННЯ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ І ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ	36
2.1 Проектування деталей з металів і сплавів	36
2.2 Утворення похідних машин на базі уніфікації.....	40
2.3 Уніфікація конструктивних елементів	41
2.4 Технологічність конструкції	42
2.5 Зменшення теплових напруг і деформації	43
2.6 Зміцнення конструкцій	43
2.7 Модернізація конструкцій	46
2.8 Конструктивні методи полегшення деталей.....	47
2.9 Уточнення розрахункових напруг	49
2.10 Вплив пружності системи	50
2.11 Основні критерії працездатності і розрахунку деталей машин і обладнання	53
2.12 Вибір матеріалу і профілю прокату при проектуванні	55
2.13 Шляхи зниження навантажень в деталях і вузлах металургійного устаткування	56
ГЛАВА 3. АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУЮВАННЯ	58
3.1 Цілі створення і призначення САПР	58
3.2 Загальна характеристика САПР	58
3.3 Структура і принципи побудови.....	59
3.4 Режими проектування в САПР.....	60
3.5 Автоматизовані робочі місця проектувальника	61
3.6 Витоки геометричного моделювання.....	62
3.7 Плоске моделювання.....	62
3.8 Об'ємне моделювання	63
3.9 Область найвищого ефекту застосування САПР	64
3.10 Математичне ядро САПР	66
3.11 Метод кінцевих елементів для просторових конструкцій.....	66
ГЛАВА 4. ПРИКЛАДИ ДІЮЧИХ САПР В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ ПРОМИСЛОВОСТІ	67
4.1 Система КОМПАС-ГРАФІК.....	67
4.2 Тривимірне твердотільне моделювання.....	72

4.3 Система твердотільного параметричного моделювання Solid Works (США).....	75
4.4 Програмні продукти компанії Autodesk, Inc.(США)	76
4.5 Pro /Engineer- система наскрізного циклу проектування-виготовлення ...	78
4.6 Система COSMOS Vorks	79
4.7 Управління проектний - конструкторською документацією.....	80
4.8 Системи векторизації і обробки скануючих зображень	80
4.9 САПР технологічних процесів.....	82
4.10 Інженерні розрахункові додатки АРМ WinMachine -система розрахунку і проектування в машинобудуванні і будівництві.....	84

Вступ

Багато технічних вузів перейшли на спеціальну підготовку інженерів конструкторів, навчаючи їх за програмою заснованої на останніх досягненнях науки і техніки, серед яких вирішальне значення має широке застосування обчислювальної техніки, систем автоматизованого проектування (САПР).

Ф. Ханзен в своїй книзі «Основи загальної методики конструювання» пише про те, що в першій третині минулого сторіччя конструюванню навчали по методу, який можна вважати класичним. Пошукам рішення і конструктивного оформлення вчилися тоді на прикладах, що були, а методику учні переймали від своїх вчителів. У другій половині минулого сторіччя, як відзначає Ф. Ханзен, методика конструювання перетворюється на самостійну дисципліну. «Методика конструювання, — пише він, — при навчанні у вищій і спеціальних школах представляє цінність не тільки для власне конструювання, але і для всіх технічних предметів, в яких важливо розвивати творчі здібності студента, а також такі універсально цінні якості, як системність мислення, послідовність образу дії, самокритичність, уміння зв'язувати різні робочі процеси при розробці, здібність до абстрагування і скріплення наочного і абстрактного... Методика конструювання розвивається, оскільки вона найпліднішим чином впливає на творчу частину проектної роботи. Завдання найближчого майбутнього полягає в тому, щоб розробити засоби методики конструювання і упровадити її в систему навчання, раціоналізувати творчу інженерну роботу, широко використовуючи машинні допоміжні засоби. Якщо не йти наполегливо по цьому шляху, то наука конструювання не задовольнятиме вимогам технічного прогресу»

Народження науки про проектування і конструювання нерозривно пов'язане з початком досліджень, що поклав основу теорії машин, механізмів і деталей машин. Тому з повним правом можемо назвати її родоначальниками акад. П. Л. Чебишева, чл.-кор. Петербурзької АН Н. Е. Жуковського, професорів Л. У. Ассура, В. Л. Кирпічева, члена Російської АН Л. Ейлера, в 30-і роки минулого сторіччя акад. У. П. Горячкина, проф. А. П. Сидорова. Методика конструювання зобов'язана своїм розвитком академікам — І. І. Артобольовському, А. А. Благонравову, А. Н. Крилову. Свого сучасного рівня вона досягла завдяки працям академіків Н. А. Доллежале, До. У. Фролова, А. І. Целікова. У всіх областях техніки можна назвати імена учених і конструкторів, чия діяльність збагатила і збагачує методологію проектування і конструювання. У авіації це академіки С. В. Ільюшин, А. Н. Тупольов, А. С. Яковлев, в космічній техніці — акад. С. П. Королев; у суднобудуванні — акад. Ю. А. Шиманський, проф. Р. Е. Алексєєв — творець суден на підводних крилах: У. І. Неганов — головний конструктор першого в світі атомного криголама; у машинобудуванні — професора Н. Р. Домбровський, А. Н. Зеленін, Ю. А. Вітрів, В. І. Баловнев, Д. П. Вовків, Е. Ю. Маліновський, Д. І. Федоров і багато інших. Список можна продовжити, охоплені далеко не всі галузі машинобудування. Своїми сучасними досягненнями вони зобов'язані талановитим конструкторам, таким, наприклад, як З. Н. Пономарев — головний конструктор найпродуктивнішого в світі ширококутового стану «2000»; Би. В. Розанов — головний конструктор найбільшого в світі преса і ін.

Новітня методологія проектування і конструювання характеризується проникненням в найпотемніший процес — синтез технічних рішень в актах творчості. Це стало необхідним у зв'язку з розвитком автоматизації проектування. Широку популярність вже здобули праці проф. А. І. Половінкіна, а також таких дослідників винахідницької діяльності, як Р. С. Альтшуллер, Р. Я. Буш і багато інших.

Методика проектування успішно розвивається і в країнах Східної Європи. У нашій країні здобули популярність завдяки перекладу на російську мову праці В. Гаспарського — Польща; І. Мюллера, Ф. Ханзена — Німеччина.

У розвинених країнах методика проектування досліджується вельми інтенсивно. До авторів, чії праці перекладені російською мовою, відносяться: Дж. До. Джонс, Дж. Діксон, А. Хол, П. Хилл.

Приведений далеко не повний перелік можна було б продовжити, якщо врахувати, що методологія проектування на рівні загальних концепцій інваріантних процедур розвивається не тільки в машинобудуванні, але і в інших галузях техніки — електроніці, будівництві.

Під об'єктами нової техніки розуміються машини, механізми і устаткування, що створюються вперше замість ручної праці або замість існуючих машин, при цьому реалізується новий принцип дії, перевершуючий старий за своїми техніко-економічними показниками.

Проектування об'єктів нової техніки відрізняється від вдосконалення тієї, що існує відсутністю прототипу, ширшим пошуком технічних ідей, що закладаються в основу майбутнього виробу, більшою невизначеністю в постановці вирішуваних задач.

Вдосконалення існуючих машин і агрегатів має солідну методологічну основу у вигляді наукового напрямку, званого оптимальним проектуванням. Крім того, в кожній області техніки розроблені приватні методи вибору конструкції і параметрів традиційних машин і устаткування. Так, у області будівельної техніки школою проф. У. І. Баловнева створена і розвивається методика проектування конструктивно-розміropодібних машин,

що дозволяє серйозно говорити не тільки про автоматизоване, але і автоматичному виконанні розробок. Так само йде справа і в інших областях техніки.

Проектування як вид трудової діяльності

Інженерна діяльність вельми багатогранна. Кожен представник цієї професії в тій чи іншій мірі пов'язаний з проектуванням, створенням і використанням об'єктів техніки, організаторською роботою. Проте з кожним роком все помітніше диференціація в трудовій діяльності інженера. Зараз часто можна чути про професію конструктора, експлуатаційника, адміністратора. Багато вищих учбових закладів перейшли на випуск фахівців з конкретною професійною орієнтацією. Проте, ще часто молодому фахівцю на початку свого трудового шляху доводиться вирішувати питання — якому виду інженерної діяльності себе присвятити. Нерідко рішення цього питання затягується на довгі роки, приносячи засмучення і незадоволеність. Вирішити його потрібно ще на студентській лаві, беручи участь в науковій, проектній і суспільній роботі.

Допомогу студентам в професійній орієнтації повинні надати викладачі.

Не сумніваючись у важливості інших видів інженерної діяльності, зупинимось на професії конструктора. Її особливості відносяться як до змісту необхідних знань, так і до рис вдачі людини. Краще всього проілюструвати ці особливості висловами видатних конструкторів або спогадами про них самих.

Ще професор А.П. Сидоров в своїй книзі «Основні принципи проектування і конструювання машин», виданої в 1929 р., писав: «Як для проектування найрізноманітніших машин і споруд (інженерних, цивільних, сільськогосподарських, дорожніх і інше), так і для виконання їх за допомогою верстатів і людей інженеру необхідне знайомство як з основними науковими предметами – математикою, механікою, фізикою і хімією і взагалі з природними науками, так і із спеціальними технічними вельми різноманітними дисциплінами, що становлять програму вищої технічної освіти; але для проектування машин і споруд різного призначення інженеру доводиться знати, і іноді вельми детально, умови роботи того, для чого або для кого призначається машина або споруда, технічні процеси, для яких він буде верстати, характер і смаки публіки, для якої робитимуться машиною вироби (ручні машинки, зброя, машини і т.п.). Для споруди аудиторій театрів і концертних залів необхідно знати акустику і музику, для споруди стайні і хліва для свиней – вдачі цих тварин і т.д.

Про необхідну широту знань читаємо в книзі «Мета життя» видатного конструктора А.С. Яковльова: «Наука і техніка досягли таких вершин, що подальший їх розвиток вимагає від фахівця різносторонності. Інженеру-конструктору, особливо якщо він мріє про цікаву творчу роботу, я вже не говорю про самостійну творчу роботу, повинні бути органічно властиві широта поглядів, глибоке, знання проблем сучасної науки і техніки, інтерес до звичайних галузей знань».

А ось як характеризується праця академіками Н.А. Долежаним і А.І. Целіковим в статті «Їм створювати машини майбутнього»: «Конструювання – одна з самих творчих сфер розумової діяльності і в той же час вельми відповідальних. Адже конструктор – це творець науково-технічного прогресу. В той же час від проведеної їм за креслярською дошкою лінії або вибраного розміру часто залежать результати роботи підприємств – що як виготовляють машину, так і експлуатують її. Не буде перебільшенням сказати, що конструкторам належить головний творчий внесок в створення матеріальних цінностей, і особливо тих, від яких залежить технічний прогрес, а, отже, і зростання продуктивності праці в країні».

Праця конструктора нелегка. Сумніви, незадоволеність, розчарування – часті його супутники в постійному пошуку.

Що ж тоді привертає в професії конструктора? Знов читаємо в книзі А.С. Яковльова: «Поставити перед собою мету, розгадувати незрозуміле, експериментувати, розраховувати і, нарешті, торжествувати перемогу – в цьому велике задоволення. Випробовує його кожен, хто створює нове. І чим важче дається мета, тим більше задоволення, коли вона досягнута».

Якими ж рисами вдачі володіють видатні конструктори? Акад. М.В. Келдиш давав таку характеристику С.П. Корольову: «Відданість справі, незвичайний талант ученого і конструктора, гаряча віра в свої ідеї, кипуча енергія і видатні організаторські здібності. Він володів величезним даром і сміливістю наукового і технічного передбачення, а це сприяло втіленню в життя складних науково-технічних задумів».

Часто говорять про талант конструктора. Поза сумнівом, він існує. Люди по-різному схильні до різних видів діяльності. Але талант – це, перш за все бажання трудитися. Знову звертаємося до книги А.С.Яковлева: «Деякі думають, що талант – це дар, яким наділена від господа Бога людина може без особливих зусиль, поодному тільки натхненню здійснювати відкриття, винаходи, створювати нову техніку – словом, творити дива. А насправді талант – це не дар божий і не тільки природжена здатність людини до тієї або іншої діяльності, це, перш за все праця, праця і ще раз праця, помножена на терпіння».

Не дивлячись на постійний розвиток засобів автоматизації, проектування залишається, і залишатиметься видом трудової діяльності, що вимагає певної готовності до творчості.

Проф. А.П. Сидоров дав таке визначення: «конструювання є мистецтво, що спирається на наукові основи». Нагадаємо, що про це А.П. Сидоров писав в 30-е роки минулого сторіччя. З тих пір наукові основи, поза сумнівом, зміцнилися, проте і зараз творчість залишається невід'ємною частиною проектування. У роботі із цього приводу мовиться: «Творчість можна визначити як успішний політ думки за межі відомого. Воно доповнює знання, сприяє створенню речей, які не були відомі раніше». Таким чином, необхідні якості проектувальника наступні:

- грамотність, під якою розуміється знання фундаментальних і спеціальних наук;
- майстерність у використанні різних методів при рішенні виникаючих задач і вміння висловлювати і відстоювати свої ідеї;
- зацікавленість в створенні якнайкращих технічних пристроїв, любов до творчості.

Історія розвитку методів проектування

Під проектуванням розуміється процес складання опису, необхідного для створення в заданих умовах ще не існуючого об'єкту. Крім поняття проектування існує і інше – конструювання. Нерідко вони використовуються як синоніми, проте частіше під конструюванням розуміють конкретне втілення певного технічного рішення, і в цьому випадку воно предстає як складова частина проектування. Дотримуватимемося погляду цієї.

Перш ніж що-небудь створити, людина формує в своїй уяві суб'єктивну модель предметів праці. Подальша її діяльність полягає в її реалізації. Ці два умовні етапи трудового процесу назовемо «проектування і виконання».

Якщо в трудовому процесі бере участь одна людина, то модель предмету праці може замикатися усередині його власних уявлень і понять. Так було в епоху ремісничого виробництва, коли вироби створювалися майстром без якої-небудь видимої підготовки, тобто кустарним способом. Так буває і тепер, якщо предмет праці є нескладним об'єктом. Як тільки до трудового процесу залучається інший учасник, так з'являється необхідність передати йому інформацію про предмет праці. Робиться це в тому або іншому умовному коді – у формі мови, словесного або графічного опису. Історія зберегла зображення об'єктів, що створюються в різні періоди. Серед них особливо привертають увагу творіння епохи Відродження і в першу чергу малюнки Леонардо да Вінчі. Проектування у формі креслень з'явилося в XVIII с.

У Росії викладання креслення в спеціальних технічних школах було введено по указу Петра I. Одну з таких шкіл кінчив І.П. Ползунов. Збереглися креслення численних складних механізмів і верстатів, виконаних І.П. Кулібіним. Метод графічних зображень, зокрема метод прямокутних проекцій, одержав достатньо повне наукове обґрунтування лише в кінці XVIII – початку XIX століття. До цього часу вже оформилася наука – накреслювальна геометрія, що знайшла широке застосування в рішенні задач будівельної техніки, фортифікаційного будівництва і надалі при виконанні машинобудівних креслень.

У Росії курс накреслювальної геометрії вперше почав читати проф. Я.А. Севастьянов в 1809г. у Петербурзькому інституті інженерів шляхів сполучення.

Якщо вважати основними **метапроцедурами** проектування ухвалення рішення, перетворення і відображення моделі об'єкту, то весь попередній історичний етап був пов'язаний головним чином з розвитком двох останніх. Накреслювальна і аналітична геометрія, креслення, теоретична механіка, теорія машин і механізмів, деталі машин і інші дисципліни дають могутній апарат для їх виконання. Основним документом, що закріплює в даний час в законодавчому порядку послідовність етапів проектування, форму і зміст технічних документів, є Єдина система конструкторської документації (ЕСКД). Якщо ж спробувати прослідкувати розвиток методів виконання метапроцедури ухвалення рішень, то тут ще не можна знайти таких великих досягнень, як по іншим двом. Дотепер можна стати свідками суперечки про те, що таке проектування – наука або мистецтво. Мистецтво тому, що воно нерозривно пов'язане з творчістю, наука, оскільки спирається на узагальнені і систематизовані знання. У різних епохах долі того або іншого початку були різні. Пригадаємо знов епоху Відродження. До технічної творчості зверталися багато видатних мислителів, художники. У міру розвитку і вдосконалення техніки одних творчих здібностей стає недостатньо. Зараз навіть найталановитіший художник навряд чи візьметься за інженерне проектування, якщо у нього немає спеціальних знань. І в той же час ще багато в процесі проектування пов'язане з творчими здібностями людини, його уявою і інтуїцією. Творчість буде завжди необхідна

проектуванню. Проте весь хід історичного розвитку його методів свідчить про те, що неухильно зростає число операцій, які переходять в розряди формалізованих, виконуваних по певних алгоритмах.

Звернемося до фундаментальних досліджень у області теорії механізмів акад. І.І. Артобольовського.

Проектування механізмів розглядається тут як складна комплексна проблема, рішення якої рекомендується розбити на декілька самостійних етапів. Перший – встановлення основної кінематичної схеми механізму, що відповідає необхідному вигляду і закону руху. На другому етапі розробляється конструктивна форма механізму, забезпечуюча його міцність, довговічність, високий коефіцієнт корисної дії і т.д. Третім етапом є досягнення технологічних і техніко-економічних показників проектного механізму, визначуваних експлуатацією у виробництві і ремонті.

Теорія машин і механізмів бере на себе методи, за допомогою яких може бути вирішений перший етап проектування – розробка кінематичних схем механізмів, відтворюючих необхідний закон руху. При цьому як додаткові враховуються питання другого і третього етапів: к.п.д., можливість виготовлення деталей і їх збірка.

Розділ теорії механізмів, присвячений методам проектування, носить назву синтезу механізмів. Основні завдання синтезу:

- 1) Перетворення обертального руху навколо однієї осі в обертальний рух навколо іншої;
- 2) Перетворення обертального руху в поступальне;
- 3) Перетворення поступальної ходи уздовж однієї заданої прямої в поступальну ходу уздовж іншої;
- 4) Відтворення однієї з точок ланок механізму необхідної траєкторії.

При рішенні вищезазначених задач враховуються структурні, кінематичні, динамічні і метричні умови.

Загальна постановка завдання синтезу механізмів зводиться до наступного.

Задані закони провідної і відомої ланок у вигляді функції положення або функції передавального відношення. Необхідно підібрати механізми, що перетворюють рух ведучого в рух відомої ланки.

Не тільки синтез, але і аналіз механізмів використовується при проектуванні. Але весь цей могутній апарат набуває чинності лише тоді, коли вибрана кінематична схема, тобто на стадіях, пов'язаних з розробкою ескізного і технічного проектів, робочої документації.

Що ж до технічного завдання і технічної пропозиції, то вирішувати при їх виконанні завдання виходять за рамки традиційної теорії машин і механізмів.

Розвиток техніки зіткнувся з рядом суперечностей. Перше з них полягає в переважанні темпу зростання складності технічних систем (ТС) над розвитком методів їх проектування.

Зростання складності ТС виявляється в збільшенні кількості вхідних в неї підсистем і елементів. В середньому по всіх галузях техніки число підсистем і елементів в ТС подвоюється через кожні 15 років. Рісте розподіл праці і число фахівців, розробляючих ТС. Ускладнюється узгодження дій, втрачається уявлення про те, що розробляється, як про єдине ціле. ТС виявляється малоефективною або непрацездатною, не дивлячись на високі показники її підсистем і елементів.

Друга суперечність виявляється у взаємодії таких чинників, як тривалість розробки і термін морального старіння ТС. Обидва чинники вимірюються часом, причому термін розробки з підвищенням складності ТС зростає, а час морального зносу із-за прискорення науково-технічного прогресу неухильно знижується. Усунення цієї суперечності може бути досягнуте, по-перше, підвищенням продуктивності праці в проектуванні; по-друге, побудовою ТС на основі перспективних технічних рішень. З початку століття продуктивність праці в проектуванні зросла лише на 80%, тоді як у виробництві - на 1000%. Пошук перспективних технічних рішень в умовах традиційних методів і засобів проектування ускладнюється із-за постійного зростання об'єму науково-технічної інформації, що збільшується в 2 рази через кожні 8 років.

До всього цього в даний час гостро відчувається дефіцит конструкторів. Практика настійно вимагає вдосконалення методів проектування.

У 40-х роках нинішнього сторіччя роботами Ю.М. Соболева і Л.Д. Майлса були закладені основи функціонально-вартісного аналізу (ФВА), що одержав надалі широкий розвиток. ФВА є методичним інструментом проектування, побудованим на принципах: системності; функціонального аналізу і синтезу; вартісної оцінки функцій; колективної творчості.

Операції і заходи ФВА, що виконуються в певній послідовності, регулюють якість об'єкту проектування, наближаючи технічні рішення до оптимального. До основних прийомів ФВА відносяться:

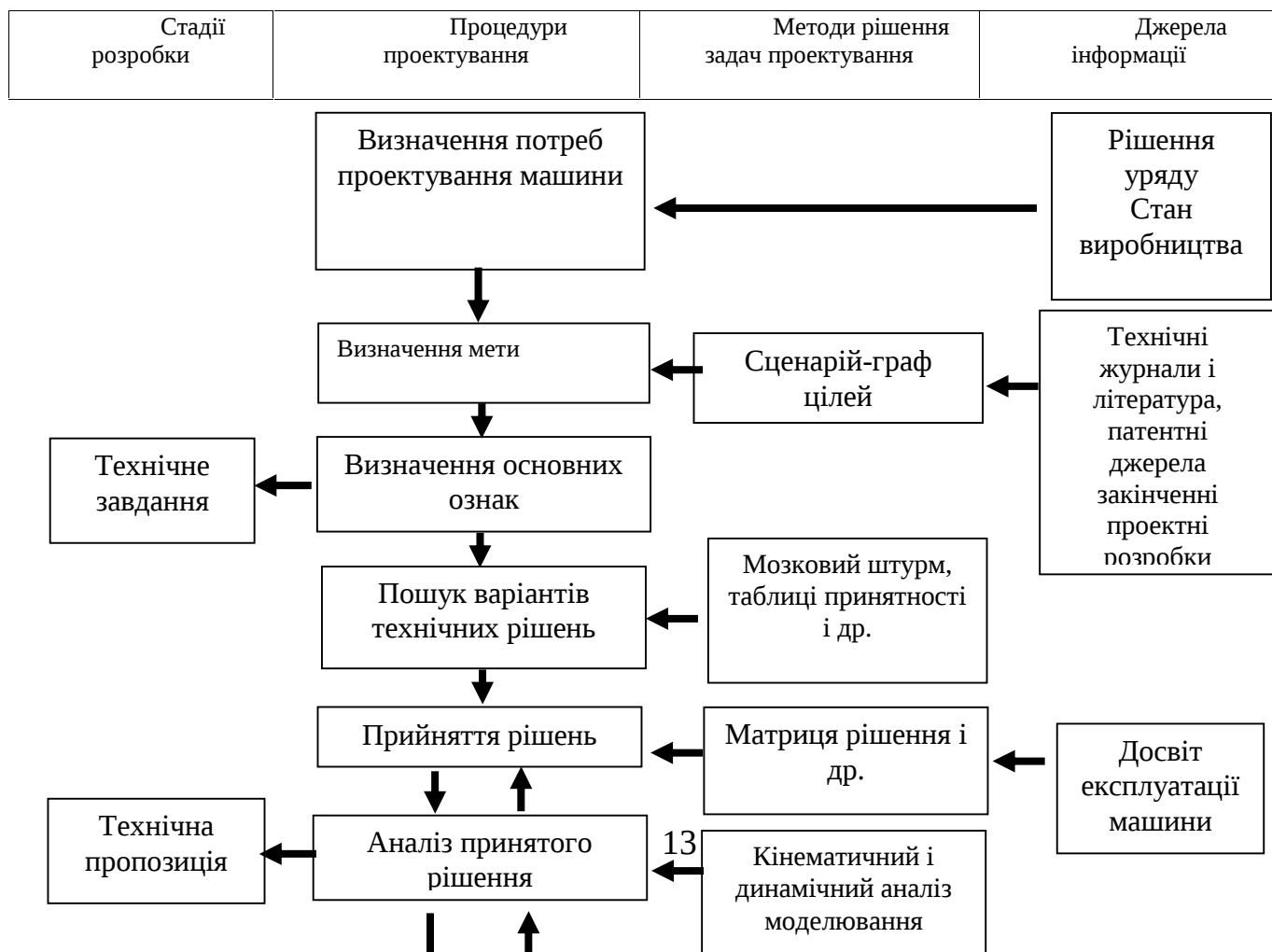
- 1) при пошуку варіантів об'єкт розглядається як комплекс абстрактних функцій;
- 2) кожна функція об'єкту проектування і його елементів розглядається системно;
- 3) технічне і економічне відпрацьованих рішень визначається паралельно;
- 4) орієнтиром в процесі проектування виступають допустимі ліміти витрат по функціях;
- 5) усунення даремних і шкідливих функцій і елементів;
- 6) багатоваріантність технічних рішень;
- 7) алгоритмізація виконання процедур і операцій;
- 8) колективний пошук рішень.

Особливість сучасних методологічних досліджень – це орієнтація на широке використання ЕОМ і створення систем автоматизованого проектування.

Процедурна модель проектування і інженерне прогнозування

Логічна схема проектування представлена процедурною моделлю. У процедурній моделі проектування лежать етапи, характерні для трудової діяльності з відстроченою реалізацією. Вона дає наочне уявлення про основні процедури і операції проектування, завдання і методи рішення, указує на джерела інформації. Модель (рис.1.1) узгоджується із стадіями розробки згідно ЄСКД, а випуск тих або інших видів технічної документації представлений як результат відповідних проектних процедур.

Проектування починається з визначення потреби в створенні нового виробу, яка найчастіше диктується станом суспільного виробництва і відображається в перспективних планах. Усередині підприємства вона може бути викликана прагненням до продуктивності праці або до усунення ручних операцій. Інженер, що постійно спостерігає за станом виробництва, своєчасно відчуває ситуацію, що перешкоджає підвищенню продуктивності праці. Це викликає у нього прагнення до усунення перешкод. Якщо виникла ситуація добре знайома, то він



--	--	--	--

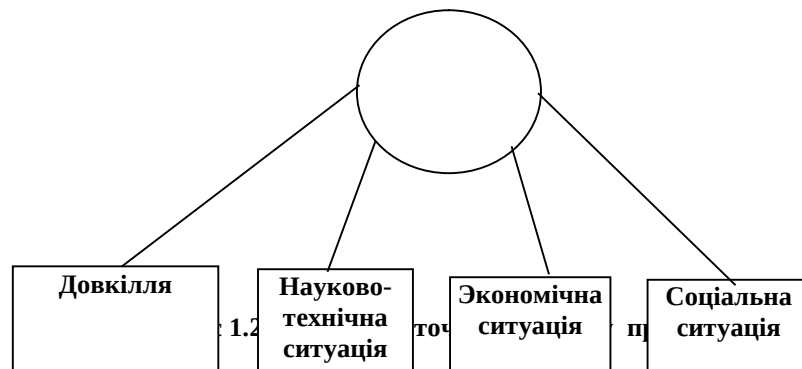
Рисунок 1.1. Процедурна модель проектування

може відразу ухвалити рішення і перейти до його реалізації. Проте значно частіше інженер не може відразу знайти краще рішення, кращим чином що задовольняє виниклу потребу. Тоді він вдається до розгорненого в часі складного інформаційного процесу, тобто проектуванню. Пошук може бути тоді вдалим, коли є ясне уявлення про його мету. Визначення мети проектування - вельми відповідальна процедура. У багатьох випадках результат розробки об'єктів нової техніки виявляється незадовільним із-за неправильного або неточного формулювання мети.

Основне завдання процедури вибору цілей – розпізнати у загальних рисах об'єкт проектування і його оточення. Якої-небудь чіткої методики рішення немає. Певним чином організує рішення задачі складання сценарію і побудова графа цілей. Джерелом інформації для виконання процедури є прогнози розвитку самого об'єкту проектування і його оточення. Вельми зручний апарат для аналізу і синтезу інформації представляє інженерне прогнозування. Воно здатне відповісти на наступні питання: які інженерні напрями займуть лідируюче положення в техніці; які можливі пропорції впровадження в практику конкуруючих напрямів; яка вірогідність використання в майбутньому тих або інших напрямів; яка передбачувана ефективність реалізації технічних напрямів і, крім того, коли можна чекати впровадження у виробництво окремих технічних рішень і напрямів. Прогнозування стає особливо важливим зараз в епоху розвитку науки і техніки. Вибираючи, наприклад, той або інший спосіб дії на середовище, як основу для створення нової машини, конструктор повинен пам'ятати, що на проектування і впровадження у виробництво його розробки піде не менше 5 років (йдеться про серійне виготовлення). За цей термін можуть відбутися істотні зміни в науці і техніці, може опинитися, що вибраний напрям перестане відповідати науково-технічному прогресу і створена машина морально застаріє з перших днів свого життя. Щоб уникнути такого положення, потрібно передбачати розвиток тих або інших технічних напрямів. Вже на стадії визначення цілей, може виникнути те або інше технічне рішення. Проте досвідчений конструктор не поспішає з його реалізацією. Він знає, що це рішення далеко не єдине.

Як вже наголошувалося, проектування пов'язане з формуванням оперативної моделі в свідомості людини. Можливість формування такої моделі забезпечується здібністю мозку людини до випереджаючого віддзеркалення дійсності, побудова оперативної моделі тісно примикає до розпізнавання. Як у тому, так і в іншому випадку є вхідна інформація про ознаки об'єкта, а на виході - висновок про сам об'єкт. Різниця між оперативною моделлю в проектуванні і розпізнаванням полягає лише в тому, що в першому випадку самого об'єкту не існує, тоді як в другому він реальний. Але, не дивлячись на це, в обох випадках справу мають не з самим «предметом», а з його ознаками. Останні можуть бути встановлені і для ще не існуючого об'єкту. Так при проектуванні тієї або іншої машини ми уявляємо собі, як вона виглядає (яку має форму, розміри, тип робочого органу), проте вже із самого початку відомо, що вона повинна робити, відома її орієнтовна продуктивність, вартість і деякі інші початкові дані. Крім того, можна встановити, в яких умовах вона працюватиме (кліматичні умови, кваліфікація робочого персоналу і інші чинники). Проектований об'єкт опиниться працездатний, якщо він пристосований до навколишнього середовища і до заданих йому функцій. Таким чином, навколишнє середовище і задані функції є тими ознаками, за допомогою яких можна розпізнати ще не існуючий об'єкт і тим самим скласти оперативну модель. Завдання ускладнюється тим, що проєктований об'єкт повинен бути пристосований до навколишніх умов не в теперішньому часі, а в майбутньому. У зв'язку з цим розпізнавання об'єкту пов'язане з прогнозуванням. Тут доречно звернутися до одного з прийомів драматургії - прийому складання сценарію. *Сценарій* – сюжетна схема без літературного тексту, про яку створюється спектакль в театрі, заснованому на імпровізації. Сценарій є коротким викладом змісту п'єси, в якому визначені головні моменти дії. Під сценарієм в практиці соціально-економічного і науково-технічного прогнозування мається на увазі огляд, що містить дані щодо ситуації, усередині якої протікають конкретні процеси, що є об'єктом прогнозу. Ці дані відносяться до самих різних сторін прогнозованої науково-технічної, соціальної і економічної ситуації і включають опис окремих чинників або подій, що роблять прямий або непрямий вплив на реалізацію конкретної події.

Описати ситуацію, усередині якої протікатиме робота проєктованого об'єкту, це означає встановити чинники його безпосереднього і непрямого оточення. До безпосереднього оточення треба віднести навколишнє середовище, усередині якого мешкатиме об'єкт. До непрямого оточення слід віднести чинники, визначені науково-технічною, економічною і соціальною ситуаціями. Перераховані чинники оточення представлені на рис 1.2.



На першому етапі складання сценарію формулюється найзагальніше уявлення про проєктований об'єкт і тому взаємний вплив чинників можна не враховувати. Тут по суті відбувається лише виявлення ознак ситуації, причому слід починати з найпростіших і очевидніших, переходячи потім до складніших і менш очевидніших. Виявлення чинників оточення подібно до емпатії (уживається в роль). Проектувальник ставить себе на місце майбутнього технічного пристрою і оглядається. Спочатку перелік чинників, а потім по ходу опису можуть бути розкриті нові чинники оточення. Скласти сценарій слід при проектуванні нового виробу. Після його

освоєння необхідно періодично вносити зміни в первинний сценарій для визначення потреби у вдосконаленні виробу, розширення або скорочення об'єму його виробництва.

Опис чинників оточення починається з викладу існуючого положення і закінчується прогнозом на майбутнє. Розглядаючи кожен чинник як об'єкт прогнозування, слід підібрати до нього найбільш відповідний метод прогнозування. Скористаємося наступною класифікацією. Класифікація проводиться за шістьма ознаками:

1. За природою об'єкту прогнозування:

а) науково-технічні (розвиток фундаментальних і прикладних досліджень, розвиток техніки, новий вигляд техніки, технічні характеристики, винаходи і відкриття у області науки і техніки, нові матеріали, технологія);

б) техніко-економічні (економіка народного господарства по галузях, розвиток і розміщення виробництва, промислові підприємства, техніко-економічні показники виробництва продукції, організаційно-економічні системи управління, освоєння нових видів продукції, фінансування виробництва);

в) соціально-економічні (демографія, трудові ресурси, розміщення продуктивних сил, освіта, національний дохід, попит, споживання);

г) військово-політичний (міжнародні відносини, небезпечні зони, військовий потенціал, стратегічний курс, військові конфлікти).

д) природні (погода, навколишнє середовище, природні ресурси).

2. По масштабності об'єкту прогнозування, визначеній числом змінних, що входять в повний опис об'єкту:

а) сублокальні – з числом значущих змінних 1...3 (виробнича функція, траєкторія руху в тривимірному просторі, робоче місце);

б) локальні – з числом значущих змінних 4...14 (виробнича ділянка, матеріал, нескладний технічний пристрій);

в) субглобальні – з числом змінних 15...35 (цех, попит на продукцію підприємства з відповідною номенклатурою);

г) глобальні – з числом змінних 36...100 (підприємства, технічна система типу «верстат – агрегат», транспортного регіону);

д) суперглобальні – з числом змінних понад 100 (галузь, крупні підприємства, велика технічна система).

3. По ступеню взаємозамінюваності значущих змінних в їх описі:

а) понад прості (об'єкти з відсутністю істотних взаємозв'язків між змінними);

б) прості (об'єкти, в описі яких містяться парні зв'язки);

в) складні (об'єкти, в описі яких містяться парні і множинні зв'язки);

г) понад складні (об'єкти, в описі яких потрібно враховувати взаємозв'язки всіх значущих змінних).

4. По ступеню детермінованості:

а) детерміновані (об'єкти, в характеристиках яких випадкова складова не істотна);

б) стохастичні (об'єкти, в описі яких необхідний облік випадкової складової змінних);

в) випадкові (що мають як детерміновані, так і стохастичні характеристики).

5. По характеру розвитку в часі:

а) дискретні (характеристики змінюються скачками);

б) аперіодичні (характеристики змінюються у вигляді аперіодичної безперервної функції);

в) циклічні (характеристики змінюються у вигляді періодичної безперервної функції).

6. По ступеню інформаційної забезпеченості:

а) об'єкти з достатньою кількісною ретроспективною інформацією;

б) об'єкти з недостатньою для забезпечення заданої точності прогнозування кількісної ретроспективної інформації;

в) об'єкти, що мають лише якісну ретроспективну інформацію;

г) об'єкти з повною відсутністю ретроспективної інформації.

У вітчизняній і зарубіжній практиці можна налічити понад сто методів прогнозування. В даний час не розроблені, та і навряд чи будуть розроблені надалі які-небудь рекомендації для однозначного вибору методу прогнозування. Можна лише обмежити орієнтовно область застосування того або іншого методу. У табл.1 представлені найбільш поширені методи прогнозування і позиції за шістьма класифікаційними ознаками, що характеризують об'єкт.

Таблиця 1 Класифікацію методів прогнозування

Методи проектування		Класифікаційні ознаки об'єкту					
		1	2	3	4	5	6
1		2	3	4	5		
Математична підгонка поліномами		А,Б,В,Д	А - Д	А, Б	А		
Екстраполяція елементарних функціях	по	А,Б,В,Д	А - Д	А, Б	А, Б		
Екстраполяція	з	А,Б,В	А - Д	А, Б	У, Г		

дисконтуванням					
Функції з гнучкою структурою	А, БИ	А - Д	А, Б	А,Б,Г	
Екстраполяція по огинаючих кривих	А	А	А	Б	
Авторегресивні моделі	А,Б,В,Д	А - Д	А	Б	
Парні регресії	А,Б,В,Д	А	Б	Б	
Множинні регресії	А,Б,В,Д	БИ - Д	У, Г	Б	
Компонентний аналіз	А,Б,В,Д	В,Г,Д	У, Г	Б	
Екстраполяція чинників	А,Б,В,Д	В,Г,Д	У, Г	Б	
Біологічні моделі зростання	А, БИ	А	А	А, Б	
Биолого-технічні аналогії	А	А	А, Б	А, Б	
Економічні аналогії по випереджаючій країні	Б	А, Б	А - Г	А,Б,В	
Технічні прогнози по випереджаючій області	А	А, Б	А - Г	А,Б,В	
Аналіз динаміки патентування	А	А, Б	Б	Б	
Методи, публікацій	А	А,Б,В	Б,В,Г	Б, В	
Індексні для Цитати методи	А, Б	А,Б,В	Б,В,Г	Б, В	
Коефіцієнт повноти і рівня техніки	А, Б	А, Б	А - Г	А,Б,В	
Індивідуальний експертний опит	А - Г	А, Б	А - Г	А,Б,В	
Колективний експертний опит	А – Г	А,Б,В	А - Г	А,Б,В	
Історико-логічний аналіз	Б,В,Г	А, Б	А – Г	А,Б,В	
Експертні комісії	А – Г	А, Б	Б,В,Г	А,Б,В	
Морфологічний аналіз	А, Б	А, Б	А – Г	А,Б,В	
Синоптична модель	А,Б,В	А,Б,В	А – Г	А,Б,В	
Метод «Дельфі»	А,Б,В	А, Б	А – Г	А,Б,В	
Метод евристичного прогнозування	А,Б,В	А,Б,В	А – Г	А,Б,В	
Колективна генерація ідей	А – Г	А	А – Г	Б, В	
Деструктивна віднесена оцінка	А – Г	А,Б,В	А – Г	Б, В	
Динамічний концептуальний аналіз	А,Б,В	А,Б,В	У, Г	Б, В	
Політичні ігри	Г	А, Б	У, Г	Б, В	
Економічні ігрові моделі	Б	А, Б	Б,В,Г	Б, В	

Приступаючи до прогнозування, необхідно на початку відшукати позиції, що відносяться до об'єкту за всіма класифікаційними ознаками, а потім підібрати метод, що охоплює можливо більше число характеризуючих об'єкт позицій.

Введемо поняття коефіцієнта спільності методу прогнозування:

$$K_{\text{общ}} = \frac{S}{\sum},$$

де:

S
 $\sum$

- кількість позицій за всіма ознаками, що охоплюються методом прогнозування;

- загальна кількість позицій за всіма ознаками.

Найбільшим коефіцієнтом спільності володіє метод колективного експертного опиту (20 позицій з 24). Потрібно відзначити, що і всі методи, що мають відношення до опиту експертів, володіють високим значенням цього показника. З інших методів прогнозування, що володіють високою універсальністю (по коефіцієнту спільності), виділяється метод «Дельфі» і морфологічний аналіз.

Серед всіх приведених методів певну групу об'єднує інженерне прогнозування. Воно спирається на інформацію, що міститься в закінчених проектних і науково-дослідних розробках, в патентах і авторських свідоцтвах. Під інженерним прогнозуванням розуміється науково обгрунтована інформація, що відображає в імовірнісній постановці потенційні можливості розвитку техніки. На рис. 1.3 представлені джерела інформації, розміщені на певних рівнях, і тимчасові періоди прогнозування. Інженерне прогнозування розповсюджується на період не понад 15 років. На його основі можна одержати відповіді на наступні питання:

які напрями займуть лідируюче положення в техніці;

які можливі пропорції впровадження в практику конкуруючих напрямів;

яка вірогідність використання техніки;

яка передбачувана економічна ефективність реалізації технічних напрямів; коли можна чекати впровадження у виробництво об'єктів техніки або цілих напрямів її розвитку.

Інженерне прогнозування використовує найбільш універсальні методи. Серед них: колективний експертний опит, екстраполяція, морфологічний аналіз.

Експертні методи прогнозування засновані на обробці думок фахівців. «Експерт» від лат. *expertus* означає «досвідчений». Опит експертів може проводитися в усній формі (інтерв'ю) або у формі заповнення анкет. В якості експертів слід вибирати фахівців, визнаних ведучими в даній області і що мають деякий досвід прогнозування. Кількісний склад експертної групи слід формувати з урахуванням можливих наслідків від невірної вибору цілей проектування. Так, наприклад, якщо проектується новий виріб для масового виробництва, то необхідно сформувати репрезентативну (представницьку) вибірку з генеральної сукупності експертів. Для цього, перш за все, визначають генеральну сукупність. До неї повинні увійти всі відомі фахівці в даній області. З урахуванням виділених чотирьох сфер оточення об'єкту проектування можна сформувати чотири групи експертів, що спеціалізуються в областях: наукових досліджень - науково-технічна ситуація; економіки - економічна ситуація; виробництва і споживання - соціологічна ситуація; екології - навколишнє середовище.

Після вибору цілей проектування можна приступити до процедури визначення основних ознак об'єкту. Згідно основної концепції методології ця процедура полягає в побудові зрізу бінарних відносин між елементами цілей і безлічі ознак по вибраній підмножині цілей.

Підмножини цілей і ознак включаються в технічне завдання.

Процедура пошуку можливих рішень нагадує формування оперативних моделей в свідомості людини. Вона найбільшою мірою спирається на творчі початки і виконується частіше неформальними методами, проте вже

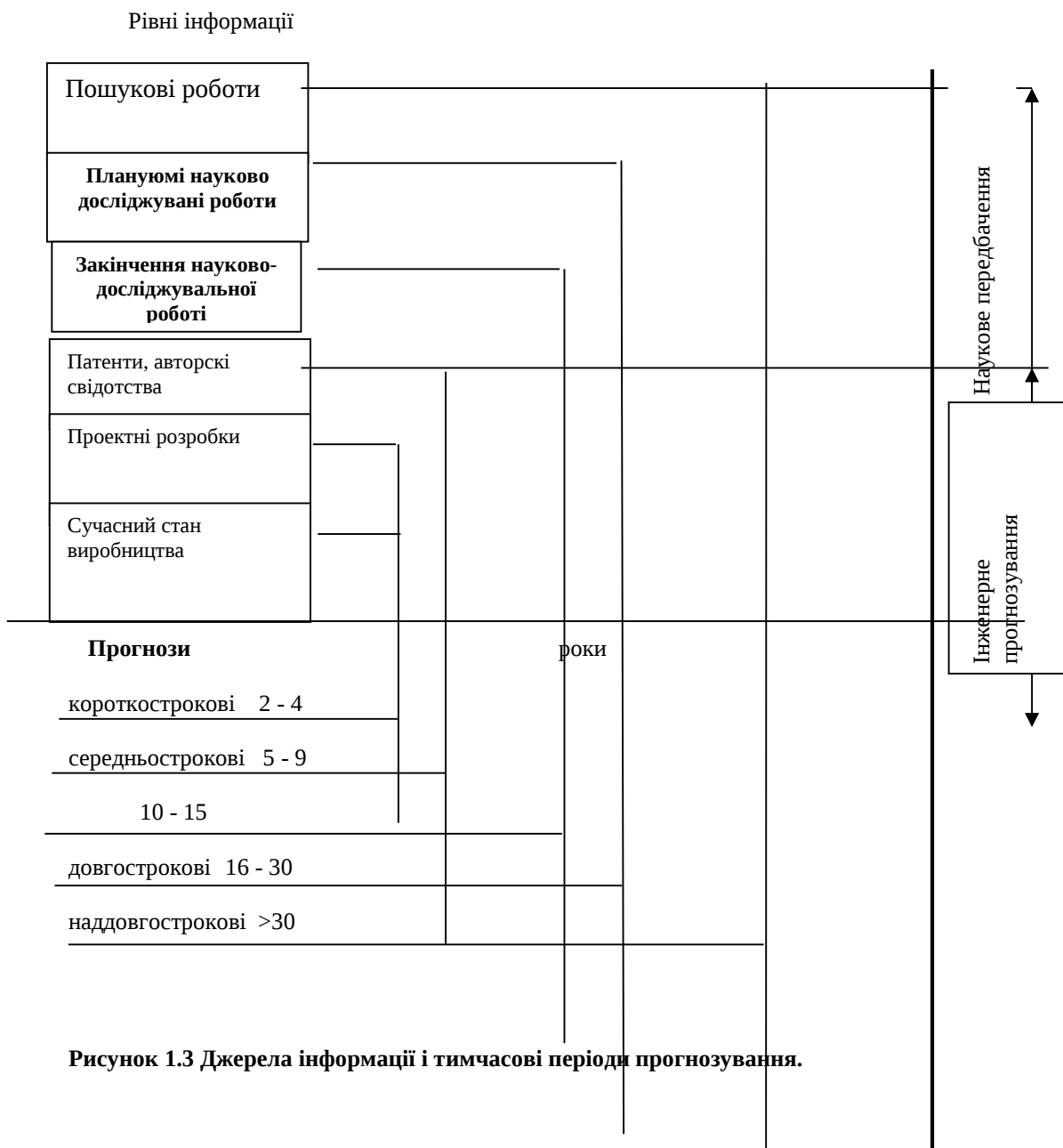


Рисунок 1.3 Джерела інформації і тимчасові періоди прогнозування.

зараз є спроби розробляти варіанти технічного рішення за допомогою ЕОМ. Основні джерела інформації: технічна література і журнали, авторські свідоцтва і патенти.

На наступному етапі проектування виконується процедура ухвалення рішення. З безлічі варіантів необхідно вибрати кращий по показнику або показникам, що встановлюють відповідність технічного рішення раніше вибраній меті. Ухвалення рішення вже зараз формалізоване в значно більшому ступені, ніж попередні процедури, хоч і містить ряд завдань, що вирішуються евристичним методом. Для порівняння варіантів, що не містять параметричну інформацію, можна застосовувати матрицю рішень і генеральну визначальну таблицю. На остаточному етапі ухвалення рішення використовується економічний розрахунок.

Основним джерелом інформації для порівняння варіантів служить досвід використання існуючих однотипних виробів. Вельми корисну інформацію для виконання процедури несе теорія ухвалення рішень, що розвивається.

Відібравши зі всіх можливих варіантів один, конструктор повинен ретельно перевірити його на працездатність і можливість технічного втілення. Ця процедура може бути названа аналізом ухваленого рішення. Методами рішення задач на даному етапі проектування виступають: кінематичний і динамічний аналіз, моделювання. Може трапитися, що вибраний варіант не задовольняє умовам працездатності або не може знайти в сучасних умовах технічного втілення. У такому разі потрібно знов повернутися до етапу ухвалення рішення, відібрати інший варіант і провести його аналіз. На схемі процедурній моделі це відбито стрілкою, що йде вгору. Остаточним оформленням ухваленого рішення є технічна пропозиція. Будь-яке навіть саме передове технічне

рішення виявиться безплідним, якщо не одержить технічного втілення. Прогрес техніки направлений на підвищення продуктивності праці, тому кожна нова машина виявляється, як правило, продуктивнішою, але не всяка нова машина виявляється надійнішою. Викликається це невдалим конструюванням, неправильним вибором параметрів. Сучасна машина виступає як єдиний агрегат, окремі вузли якого знаходяться у взаємодії. Так, наприклад, вібраційна дія робочого органу передається не тільки на оброблюване середовище, але і на раму машини, на ходове і силове устаткування, на систему управління, погіршуючи умови роботи цих вузлів. Прагнення до повного усунення шкідливої дії на всі вузли може, привести до істотного дорожчання машини. Вдала машина є оптимальним поєднанням параметрів всіх її вузлів. Вибір параметрів можна віднести до класу завдань, які носять назву екстремальних. Той або інший критерій якості, поліпшення якої складає мету проектування, вибирається головним і представляється у вигляді функції, яка підлягає максимізації або мінімізації. Аргументами функції служать параметри машини. Область їх допустимих значень обмежується деякою підмножиною. Вирішити поставлене таким чином завдання означає знайти значення аргументів із заданої підмножини, при яких цільова функція набуває екстремального значення. За наслідками процедури вибору параметрів може бути складений ескізний проект. Він є сукупністю конструкторських документів, що дають уявлення у загальних рисах про принцип роботи машини.

Одержавши дані про параметри машини, приступають до її конструювання. Успішне виконання цього етапу залежить як від досвіду конструктора, так і від його уміння використовувати знання, одержані з таких наук, як «Деталі машин», на основі якої проводяться міцності розрахунки; «Взаємозамінюваність, стандартизація і технічні вимірювання», що визначають вимоги до характеру і точності типових з'єднань в машинах на основі експлуатаційного призначення, методи розрахунково-досвідченого забезпечення міцності, фізико-технічні і економічні передумови систем допусків і посадок, побудова і застосування цих систем в комплексі з технічними вимірюваннями, метрологічні обґрунтування якості продукції; «Надійність машин», що дає можливість оцінити такі властивості майбутнього об'єкту нової техніки, як безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, сохрнаність; «Ергономіка», що характеризує систему «Людини-машина-середовище» з урахуванням антропометричних, гігієнічних, психофізіологічних і психологічних властивостей людини; «Технічна естетика», що формує методи досягнення виразності, оригінальності, гармонійності і цілісності форм машини; «Охорона праці», що визначає систему заходу щодо забезпечення безпечних для життя і здоров'я умов праці обслуговуючого персоналу; «Кваліметрія», що визначає теоретичні основи кількісної оцінки якості продукції. Завершена проектна розробка оформляється у вигляді технічного проекту і робочої документації, склад і зміст яких передбачені ЕСКД. При виконанні всіх цих робіт потрібно постійно пам'ятати про вельми важливу обставину в будь-якій трудовій діяльності - контролю за виконанням ухваленого рішення. На відміну від фізичної роботи, коли людина має безпосередній контакт з предметом праці, при проектуванні конструктор стикається лише із зображенням цього предмету. В процесі своєї роботи він може припускатися помилки, сенс якої нерідко виявляється прихованим до закінчення технічного втілення проектного пристрою при його випробуванні, а іноді і значно пізніше. Тому в контроль за результативністю виконання ухваленого рішення вкладається ширший сенс. Крім звичайної перевірки креслень слід практикувати аналіз можливих помилок, коли конструктор в думках «переживає» поведінку машини або її частини в тих або інших ситуаціях. Чим ширший цей аналіз, тобто чим більше ситуацій може «пережити» конструктор і усунути виявлені помилки, тим більшою мірою можна розраховувати на успіх в роботі проектного пристрою.

У завершенні відзначимо, що приведена процедурна модель відображає проектування принципово нового об'єкту. У тому ж випадку, коли він є елементом усередині типорозмірного ряду, немає необхідності виконувати всі етапи проектування, а починати слід відразу з вибору параметрів.

Принципи і завдання проектування

Складність сучасних об'єктів викликає і складність завдання проектування. Вони не можуть бути вирішені відразу прямим замиканням вхідної інформації на постійну концептуальну модель дійсності, а вимагають розгорненого в часі складного інформаційного пошуку. У цих умовах загальне завдання розпадається на підзадачі, тобто відбувається її декомпозиція. Множинність шляхів досягнення мети проектування вимагає розгляди не одного, а багатьох варіантів технічного рішення, до кожного з яких застосовуються певні методи аналізу і оцінки. Повторне застосування методів або алгоритмів проектування характеризують ще одну його особливість, звану інтерактивністю. Сучасні методи проектування повинні бути орієнтовані на широке використання ЕОМ, не виключаючи людину при рішенні найбільш складних і творчих задач. Таку особливість називають ергатичністю, маючи на увазі розумне поєднання формалізованих (машинних) і неформалізованих (людських) процедур в процесі проектування.

Сформулюємо основні завдання методології проектування з урахуванням приведених особливостей методів, що вивчаються нею. Декомпозиція вимагає логічної схеми послідовності дій, найкращим чином організуючої процес проектування.

Побудову такої схеми вважатимемо першим завданням методології проектування.

Прагнення до широкого використання ЕОМ вимагає формалізації процедур, а це, у свою чергу, вимагає складання математичної моделі, як процесу, так і об'єкту проектування.

Розробка математичних моделей складає другу, а методи і алгоритми виконання проектних процедур – третє завдання методології.

І ще про одне завдання. Воно не витікає безпосередньо зі всього раніше викладеного, стоїть як би осторонь, але не втрачає від цього своєї важливості. Йдеться про вибір стадій розробки процесу проектування. Відомо, що ЄСКД передбачає наступні стадії: технічне завдання; технічна пропозиція; ескізний проект; технічний проект; робоча документація. ДОСТ не зобов'язує виконання всіх стадій. У практиці кожної проектної організації встановилася традиційна стадійність. Проте вона часто не відповідає збільшеній складності об'єктів проектування. Вибір стадій розробки повинен бути гнучкішим і встановлюватися обґрунтовано, а не традиційно.

Найчастіше виконують технічне завдання, технічний проект і робочу документацію, опускаючи технічну пропозицію і ескізний проект. До чого це може привести? Невиконання робіт, передбачених технічною пропозицією, а саме технічного і техніко-економічного обґрунтування доцільності проектування, вибору різних варіантів можливих рішень, порівняльної оцінки рішень може привести до того, що в основу розробки ляже не краще технічне рішення. Невиконання ескізного об'єму може привести до вибору не оптимальних параметрів об'єкту.

З іншого боку, зайва стадія пов'язана з непродуктивною витратою часу і трудових ресурсів. Проблема полягає в тому, щоб навчитися обґрунтовано вибирати стадії розробки з урахуванням складності об'єкту, ступеня його новизни, наслідків можливих помилок при проектуванні.

Як всяка дійсно наукова дисципліна методологія проектування повинна містити основну концепцію, на якій споруджується вся її споруда. Розгляд проектування з позицій теорії віддзеркалення дозволив віднести цей процес до розпізнавання об'єкту, що найкращим чином відповідає поставленим цілям.

Для образності представимо: все, що потрібно людині, вже створено і знаходиться на складі. Об'єкти, що містяться на ньому, класифіковані за ознаками: функціональним, конструктивним, якісним і ін. Звертаючись на склад, людина повинна усвідомити свої цілі, зіставити їх з ознаками і по ним відшукати об'єкт. Можна припустити, що таких об'єктів опиниться більш одного (відсутність об'єкту виключається початковою умовою). В цьому випадку людина відбирає такий з них, який найбільшою мірою відповідає поставленим цілям. При цьому він керується деякою шкалою оцінок.

Розповсюдивши такий поведінковий акт на проектування, визначимо його основні компоненти:

- A - безліч цілей;
- P - безліч ознак;
- X - безліч технічних рішень;
- V - безліч оцінок

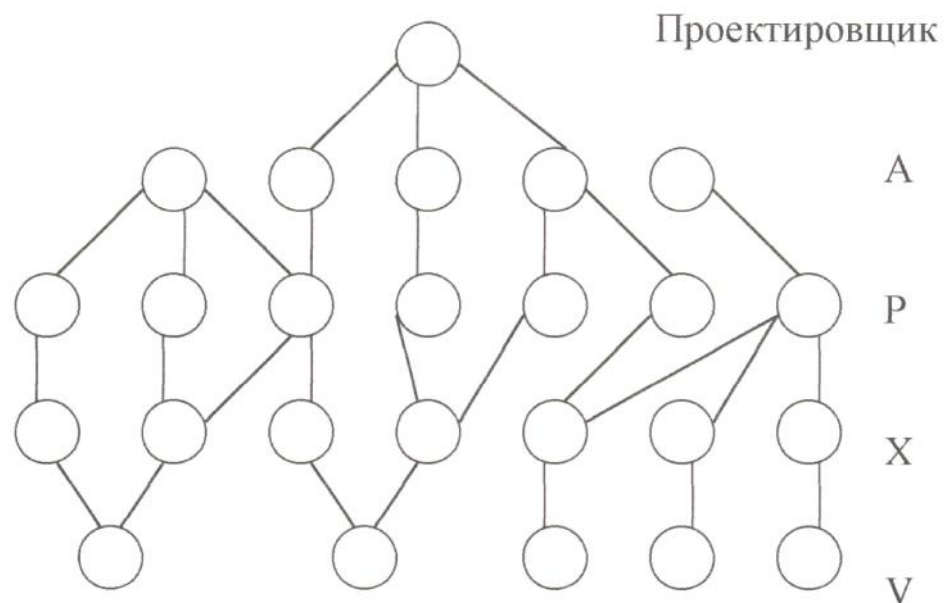


Рисунок 1.4 Схема основних компонентів проектування.

На рисунку 1.4 показана схема основних компонентів проектування. Вона є граф з вершинами, що означають елементи безлічі цілей, ознак, технічних рішень і оцінок, і з ребрами, що відображають відносини між елементами.

Користуючись термінологією теорії множин, проектування технічної системи можна пов'язати з відображенням на безліч оцінок зрізу твору бінарних відносин безліч цілей і безліч ознак; безліч ознак і безліч технічних рішень. Позначимо через:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – безліч цілей;
 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – безліч ознак;
 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ – безліч технічних рішень;
 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_t\}$ – безліч оцінок;

Тоді функція проектування може бути виражена як:

$$F: (Y \subset J(A)) \rightarrow V$$

де J – бінарне відношення між елементами безлічі A і P ;

Y – бінарне відношення між елементами безлічі P і X ;

При цьому

$$J \subset (A \times P);$$

$$Y \subset (P \times X);$$

$$A_0 \subset A;$$

Встановити бінарні відносини J і Y – означає вказати на ті впорядковані пари декартова твору, які знаходяться у відношенні і відповідні. Бінарне відношення між множинами A і P при проектуванні означає бути засобом до досягненні мети, а бінарне відношення між P і X – відповідати ознаці. Оскільки кожної мети можуть відповідати декілька ознак множини, та підмножина P_i , з яким a_i знаходиться у відношенні, є зрізом через елемент

Якщо для проектування конкретного об'єкту вибрано підмножину A_0 безлічі цілей A , то можна знайти зріз через A_0 :

$$J(A_0) = (\subset p)(\forall a)[a \in A_0 \wedge (a, p) \in J]. \quad (2)$$

Аналогічно знайдемо:

$$Y(A_0) = (\subset x)(\forall p)[p \in P_0 \wedge (p, x) \in Y], \quad (3)$$

де P_0 – зріз безлічі P по підмножині A_0 .

Твір бінарних відносин:

$$Y \circ J(A_0) = (\subset (a, x))(\forall p)[(a, p) \in J \wedge (p, x) \in Y]. \quad (4)$$

є безліччю впорядкованих пар (a, x) , що мають елемент p безлічі P , з якою a знаходиться у відношенні J , а сам він вступає у відношення Y з елементом x .

Зріз твору по підмножині A_0 виражається так:

$$Y \circ J(A_0) = (\subset (a, x))(\forall p)[(a, p) \in J \wedge (p, x) \in Y \wedge a \in A_0]. \quad (5)$$

Відображення зрізу твору бінарних відносин на безліч оцінок означає функцію, що визначена на множині $Y \circ J(A_0)$ і приймає значення на множині V . Кожен елемент множини V при цьому є в загальному випадку n -мірним вектором, компонентами якого є вартісні характеристики, характеристики корисності і ін.

Вираз (1) можна розглядати як цільову функцію проектування, яку в результаті виконання певних операцій необхідно оптимізувати:

$$(A: (Y \circ J(A_0)) \rightarrow V) \rightarrow opt. \quad (6)$$

Рівні, аспекти і етапи проектування

Проектування технічного об'єкту пов'язане із створенням, перетвореннями і уявленням в прийнятій формі образу цього об'єкту. Образ об'єкту або його складових частин може створюватися в уяві людини в результаті творчого процесу або генеруватися по деяким алгоритмам в процесі взаємодії людини і ЕОМ. У будь-якому випадку проектування починається за наявності завдання на проектування, яке відображає потреби суспільства в отриманні деякого технічного виробу. Це завдання представляється у вигляді тих або інших документів і є початковим (первинним) описом об'єкту. Результатом проектування, як правило, служить повний комплект документації, що містить достатні відомості для виготовлення об'єкту в заданих умовах. Ця документація є остаточним описом об'єкту.

Проектування — процес, що полягає в перетворенні початкового опису об'єкту в остаточний опис на основі виконання комплексу робіт дослідницького, розрахункового і конструкторського характеру.

Перетворення початкового опису в остаточне породжує *проміжні описи*, які є предметом розгляду з метою визначення закінчення проектування або вибору шляхів його продовження. Такі описи називають *проектними рішеннями*.

Проектування, при якому всі або частину проектних рішень одержують шляхом взаємодії людини і ЕОМ, називають *автоматизованим*, а проектування, при якому ЕОМ не використовується, — *неавтоматизованим*.

Можливості проектування складних об'єктів обумовлені використанням ряду принципів, основними з яких є декомпозиція і ієрархічність описів об'єктів, багатоступеністість і ітераційність проектування, типізація і уніфікація проектних рішень і засобів проектування.

Описи технічних об'єктів повинні бути по складності узгоджені з можливостями сприйняття людиною і можливостями операції описами в процесі їх перетворення за допомогою наявних засобів проектування. Проте виконати цю вимогу в рамках деякого єдиного опису, не розчленовувавши його на деякі складові частини, вдається лише для простих виробів. Як правило, потрібна структуризація описів і відповідне розчленовування уявлень про проектовані об'єкти на ієрархічні рівні і аспекти. Це дозволяє розподіляти роботи по проектуванню складних об'єктів між підрозділами проектної організації, що сприяє підвищенню ефективності і продуктивності праці проектувальників.

Розділення описів по ступеню деталізації відображення властивостей, і характеристик об'єкту лежить в основі *блоково-ієрархічного підходу до проектування* і приводить до появи *ієрархічних рівнів (рівнів абстрагування)* в уявленнях про проектований об'єкт.

На кожному ієрархічному рівні використовуються свої поняття системи і елементів. На рівні 1 (верхньому рівні) належний проектуванню складний об'єкт S розглядається як система S з і взаємозв'язаних і взаємодіючих елементів S_i (рис. 1.5). Кожний з елементів в описі рівня 1 є також досить складним об'єктом, який, у свою чергу, розглядається як система S_i на рівні 2. Елементами систем S_i є об'єкти S_{ij} $j=1, 2, \dots, m_i$ (m_i — кількість елементів в описі системи S_i). Як правило, виділення елементів S_{ij} відбувається за функціональною ознакою. Подібне розділення продовжується аж до отримання на деякому рівні елементів, описи яких подальшому діленню не підлягають. Такі елементи по відношенню до об'єкту S називають *базовими елементами*.

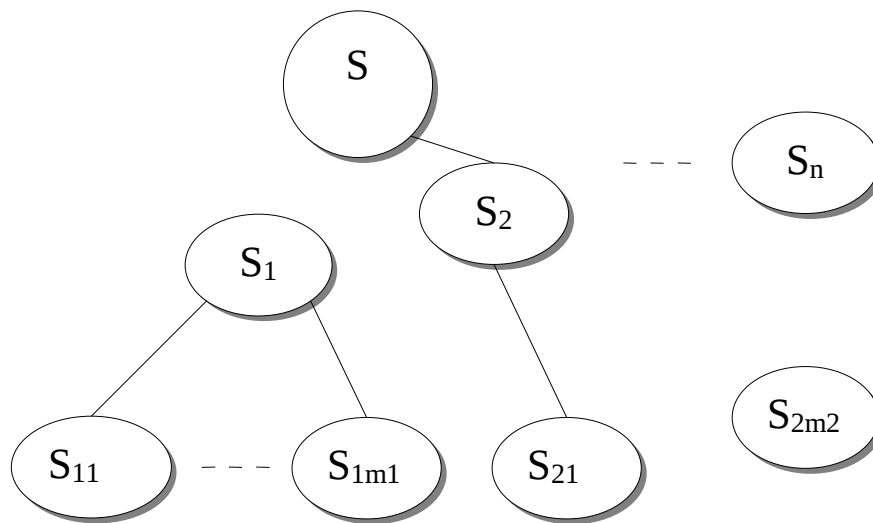


Рис 1.5 Ієрархічні рівні

Таким чином, *принцип ієрархічності* означає структуризацію уявлень про об'єкти проектування по ступеню детальності описів, а *принцип декомпозиції (блочності)* — розбиття представлень кожного рівня на ряд складових частин (блоків) з можливостями роздільного (поблочного) проектування об'єктів S_i на рівні 1, об'єктів S_{ij} на рівні 2 і т.д.

У машинобудуванні базові елементи представлені *деталлями*. Прикладами деталей є гвинт, шпонка, масловідбивач, вал, зубчасте колесо. Деталі розглядаються як елементи, що фігурують в описах нижчого ієрархічного рівня, на якому системами є *складальні одиниці* (наприклад, редуктор електромеханічного приводу, електрододержатель). Іноді базовими елементами таких систем можуть бути не тільки деталі, але і об'єкти, що складаються з багатьох деталей і одержані на даному підприємстві як закінчені комплектуючі вироби (наприклад, підшипники кочення, муфти і т. п.). Складальні одиниці є елементами *агрегатів (комплексів)* — системи наступного ієрархічного рівня (наприклад, металургійних агрегатів, гідравлічних пресів, двигунів внутрішнього згорання). У деяких областях техніки використовуються додаткові вищі ієрархічні рівні. Так,

прокатний стан може бути елементом комплексу — сукупності технологічного устаткування в потоковій лінії, двигун — елементом в таких складних системах, як літальний апарат або автомобіль.

При розгляді технологічних процесів в машинобудуванні найбільш загальне, але і найменше детальний опис представляється *принциповою схемою технологічного процесу*. На наступному ієрархічному рівні описуються *маршрути обробки деталей (маршрутна технологія)* як системи, що складаються з елементів — технологічних операцій. Подальше застосування принципів ієрархічності і блочності приводить до виділення рівнів опису *операційної технології і програм, що управляють*, для верстатів з числовим програмним управлінням. На рівні опису програм, що управляють, технологія визначена з точністю до елементарних рухів робочих органів програмно-керованого технологічного устаткування.

Окрім розчленовування описів по ступеню деталізації віддзеркалення властивостей об'єкту, що породжує ієрархічні рівні, використовують декомпозицію описів, що по характеру відображаються властивостей об'єкту. Така декомпозиція приводить до появи ряду *аспектів* описів. Найбільш крупними є функціональний, конструкторський і технологічний аспекти. Рішення задач, пов'язаних з перетворенням або отриманням описів, що відносяться до цих аспектів, називають відповідно *функціональним, конструкторським і технологічним проектуванням*.

Функціональний аспект пов'язаний з відображенням основних принципів функціонування, характеру фізичних і інформаційних процесів, що протікають в об'єкті, і знаходить вираз в принципових, функціональних, структурних, кінематичних схемах і супроводжуючих їх документах.

Конструкторський аспект пов'язаний з реалізацією результатів функціонального проектування, тобто з визначенням геометричних форм об'єктів і їх взаємним розташуванням в просторі.

Технологічний аспект відноситься до реалізації результатів конструкторського проектування, тобто пов'язаний з описом методів і засобів виготовлення об'єктів.

Можливо більш диференційований опис властивостей об'єкту з виділенням в ньому ряду підсистем і відповідного числа аспектів. Наприклад, функціональний аспект можна розділити по фізичним основам описуваних явищ на аспекти електричний, механічний, гідравлічний, хімічний і т.п. При цьому в описах електромеханічної системи з'являються описи електричної і механічної підсистем, в описах ядерного реактора — описи газодинамічної, теплової, фізико-нейтронної підсистем і т.д.

У середині кожного аспекту можливо своє специфічне виділення ієрархічних рівнів. Так, функціональний аспект опису прокатного устаткування включає відмічені вище ієрархічні рівні принципових, функціональних і структурних схем. В той же час конструкторському аспекту опису прокатного устаткування властива своя ієрархія рівнів, в якій виділяють рівні типових елементів.

Складові частини процесу проектування. Проектування як процес, що розвивається в часі, розчленовується на стадії, етапи, проектні процедури і операції.

При проектуванні складних систем виділяють стадії передпроектних досліджень, технічного завдання і технічної пропозиції, ескізного, технічного, робочого проектів, випробувань і впровадження.

На стадіях передпроектних досліджень, технічного завдання і технічної пропозиції на підставі вивчення потреб суспільства в отриманні нових виробів, науково-технічних досягнень в даній і суміжній галузях промисловості, наявних ресурсів визначають призначення, основні принципи побудови технічного об'єкту і формулюють технічне завдання (ТЗ) на його проектування. Ці стадії називають також *стадіями науково-дослідних робіт (НДР)*.

На стадії *ескізного проекту* (інакше стадії дослідно-конструкторських робіт — ДКР) перевіряється коректність і реалізовується основних принципів і положень, що визначають функціонування майбутнього об'єкту, і створюється його ескізний проект.

На стадії *технічного проекту* виконується всестороннє опрацювання всіх частин проекту, конкретизуються і деталізуються технічні рішення.

На стадії *робочого проекту* формується вся необхідна документація для виготовлення виробу. Далі *створюється і випробовується* дослідний зразок або пробна партія виробів, за наслідками випробувань вносяться необхідні корективи в проектну документацію, після чого здійснюється *впровадження* у виробництво на вибраному підприємстві.

Етап проектування — частина процесу проектування, що включає формування всіх потрібних описів об'єкту, що відносяться до одному або декількох ієрархічних рівнів і аспектів. Часто назви етапів співпадають з назвами відповідних ієрархічних рівнів і аспектів. Так, проектування технологічних процесів розчленовують на етапи розробки принципових схем технологічного процесу, маршрутної технології, операційної технології і отримання інформації, що управляє, на машинних носіях для програмно-керованого технологічного устаткування.

Складові частини етапу проектування називають проектними процедурами (Рис.1.6). Проектна процедура — частина етапу, виконання якої закінчується отриманням проектного рішення. Кожній проектній процедурі відповідає деяке завдання проектування, що вирішується в рамках даної процедури. Дрібніші складові частини процесу проектування, що входять до складу проектних процедур, називають проектними операціями. Прикладами проектних процедур можуть служити: оформлення креслення виробу, розрахунок параметрів редуктора, вибір типової конструкції для побудови електроприводу, а прикладами проектних операцій — викреслювання типового графічного зображення (зубчатого зачеплення, рамки креслення і т. п.), рішення системи алгебраїчних рівнянь, що описують статичний стан редуктора, розрахунок

показників ефективності чергового варіанту побудова електроприводу. Таким чином, поняття рівня і аспекту відносяться до структуризації уявлень про проєктований об'єкт, а поняття етапу — до структуризації процесу проєктування.

Низхідне і висхідне проєктування. Якщо рішення задач високих ієрархічних рівнів передують рішенням задач нижчих ієрархічних рівнів, то проєктування називають *низхідним*. Якщо раніше виконуються етапи, пов'язані з нижчими ієрархічними рівнями, проєктування називають *висхідним*.

У кожного з цих двох видів проєктування є переваги і недоліки. При низхідному проєктуванні система розробляється в умовах, коли її елементи ще не визначені і, отже, відомості про їх можливості і властивості носять гаданий характер. При висхідному проєктуванні, навпаки, елементи проєктуються раніше системи, і, отже, гаданий характер мають вимоги до елементів. У обох випадках

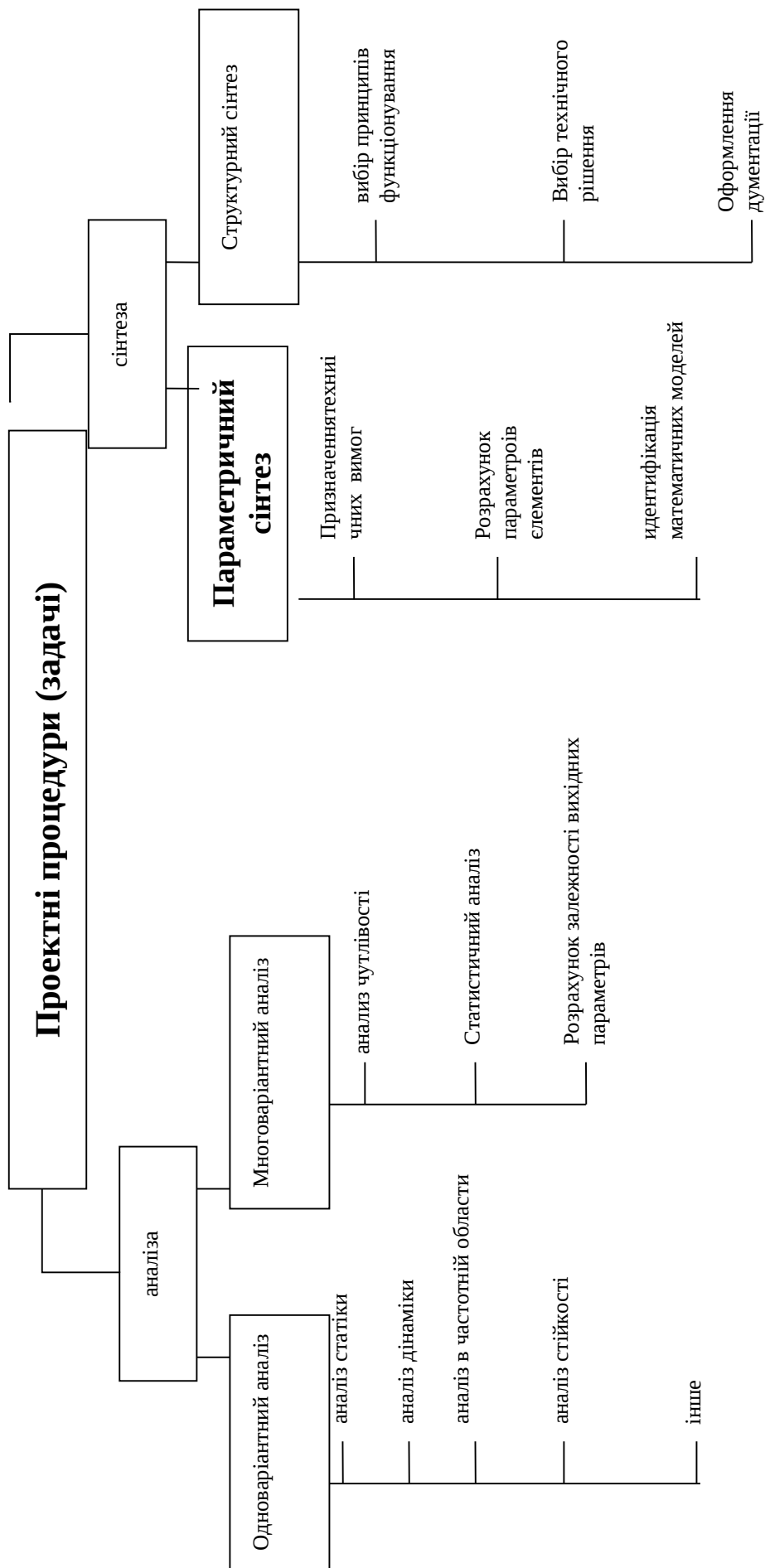


Рисунок 1.6 Класифікація типових проектних процедур

через відсутність вичерпної початкової інформації мають місце відхилення від потенційно можливих оптимальних технічних результатів. Проте потрібно пам'ятати, що подібні відхилення неминучі при блоково-ієрархічному підході до проектування і що якою-

або прийнятної альтернативи блоково-ієрархічному підходу при проектуванні складних об'єктів не існує. Тому оптимальність результатів блоково-ієрархічного проектування слід розглядати з позицій техніко-економічних показників, що включають, зокрема, матеріальні і тимчасові витрати на проектування.

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

На практиці звичайно поєднують висхідне і низхідне проектування. Наприклад, висхідне проектування має місце на всіх тих ієрархічних рівнях, на яких використовуються уніфіковані елементи. Очевидно, що уніфіковані елементи, орієнтовані на застосування у ряді різних систем певного класу, розробляються раніше, ніж та або інша конкретна система з цього класу.

Зовнішнє і внутрішнє проектування. При низхідному проектуванні формулювання ТЗ на розробку елементів *k*-го ієрархічного рівня відноситься до проектних процедур цього ж рівня. Інакше йде справа з розробкою ТЗ на систему вищого ієрархічного рівня або на уніфіковану систему елементів, призначену для багатьох застосувань. Тут розробка ТЗ є самостійним етапом проектування, часто званим *зовнішнім проектуванням*. На відміну від нього етапи проектування об'єкту по сформульованих ТЗ називають *внутрішнім проектуванням*.

Основа зовнішнього проектування - правильний облік сучасного стану техніки, можливостей технології, прогноз їх розвитку на період часу, не менший життєвого циклу об'єкту. Разом з технічними чинниками необхідні облік економічних показників, прогноз вартості і термінів проектування і виготовлення. На основі вивчення стану і перспектив науково-технічного прогресу група експертів формулює первинний варіант ТЗ на систему. Оцінку здійсності сформульованого ТЗ і рекомендації по його коректуванню одержують за допомогою проектних процедур внутрішнього проектування.

Отже, на початкових стадіях проектування складних систем має місце ітераційний процес, в якому по черзі виконуються процедури зовнішнього і внутрішнього проектування — формулювання ТЗ, його коректування, оцінка здійсності, прогноз матеріальних і тимчасових витрат на проектування і виготовлення (Рис.1.7).

З метою поліпшення техніко-економічних показників об'єктів, скорочення трудомісткості і термінів проектування здійснюють типізацію і уніфікацію проектних рішень, методології і засобів проектування.

Типізація проектних рішень доцільна при їх багатократному використанні. Для розробки унікальних об'єктів типові рішення (ТР) використовують в обмеженому об'ємі (більшою чи меншою мірою) за наявності відповідних можливостей.

Уніфікація методології проектування припускає вибір і розробку методик, що забезпечують достатньо ефективне проектування об'єктів відповідного класу (групи). *Уніфікація засобів проектування* припускає розробку проектних процедур і операцій, що виконуються безпосередньо проектувальником або з використанням технічних і програмних засобів, для ведення проектування об'єктів відповідного класу (групи).

Існують наступні шляхи підвищення ефективності і раціоналізації процесу проектування: типізація, оптимізація і автоматизація.

Без достатньо глибокої *типізації* проектних рішень, методологій і засобів проектування раціоналізація проектування неможлива із-за великих об'ємів і термінів розробки, а також обмежених тимчасових і трудових ресурсів.

В межах матеріалів, що є у розпорядженні проектувальників, ефективність проектованих об'єктів найбільшою мірою визначається оптимальністю ухвалених рішень. *Оптимізація* припускає ухвалення таких рішень, які найбільшою мірою відповідають вимогам, критерійними, що є, і задовольняють вимоги, використовувані як обмеження.

Типізація і автоматизація не дають істотного ефекту без автоматизації проектних робіт, тобто впровадження автоматизованого (автоматичного) проектування, визначуваного як проектування, при якому окремі перетворення описів об'єкту і (або) алгоритму його функціонування або алгоритму процесу, а також представлення описів на різних мовах здійснюється взаємодією ЕОМ (без участі людини). Автоматизують процедури і операції введення і виведення різних даних, пошуку, розробки, ухвалення, оцінки, контролю і зберігання проектних рішень, компоновки, редагування і виведення (виготовлення) проектної документації, інформаційно-довідкового обслуговування. У автоматизований (частково автоматичний) режим виконання може бути введено до 90% всіх проектних робіт. Тільки невелика частина в основному творчих процесів не може бути автоматизована. Це пошук і ухвалення оригінальних рішень, ухвалення рішень (по вибору варіантів, спрямованості процесу проектування і т.п.) в ситуаціях, що неформалізуються, рішення найбільш складних питань за погодженням рішень. Але і ці роботи можуть бути значно інтенсифіковані за рахунок автоматизації інформаційно-довідкового обслуговування.

Отже, складність, трудомісткість, а іноді і неможливість реалізації типізації і оптимізації без автоматизації проектних робіт, з одного боку, а також даремність автоматизації в більшості випадків без типізації і оптимізації, з іншою, зумовили їх комплексне застосування для підвищення ефективності проектування. Причому найбільший ефект забезпечує сумісне і взаємозв'язане застосування методів, принципів і засобів типізації,

оптимізації і автоматизації проектних робіт і рішень в єдиній системі, що одержала назву системи автоматизованого проектування (САПР).

Види описів проєктованих об'єктів і класифікація їх параметрів. Остаточний опис проєктованого об'єкту є повним комплектом схемної, конструкторської і технологічної документації, оформленої по ЕСКД і призначеної для використання в процесі виготовлення і експлуатації цього об'єкту. Також відповідно до ЕСКД оформляються і деякі проміжні проєктні рішення. Проте для проміжних вирішень, призначених для використання власне при проєктуванні, характерні специфічні форми уявлення, прийняті в даній системі проєктування. Зокрема, описи можуть приймати різну мовну форму і знаходитися в різних пристроях, що запам'ятовують, САПР. Важливе значення в цих описах мають математичні моделі об'єктів проєктування, оскільки виконання проєктних процедур при автоматизованому проєктуванні засноване на операції математичними моделями.

Математична модель (ММ) технічного об'єкту — система математичних об'єктів (чисел, змінних, матриць, множин і т. п.) і відносин між ними, що відображає деякі властивості технічного об'єкту. При проєктуванні використовують математичні моделі, що відображають властивості об'єкту, істотні з позицій інженера.

Серед властивостей об'єкту, відбиваних в описах на певному ієрархічному рівні, зокрема в ММ, розрізняють властивості систем, елементів систем і зовнішнього середовища, в якому повинен функціонувати об'єкт. Кількісний вираз цих властивостей здійснюється за допомогою величин, званих *параметрами*.

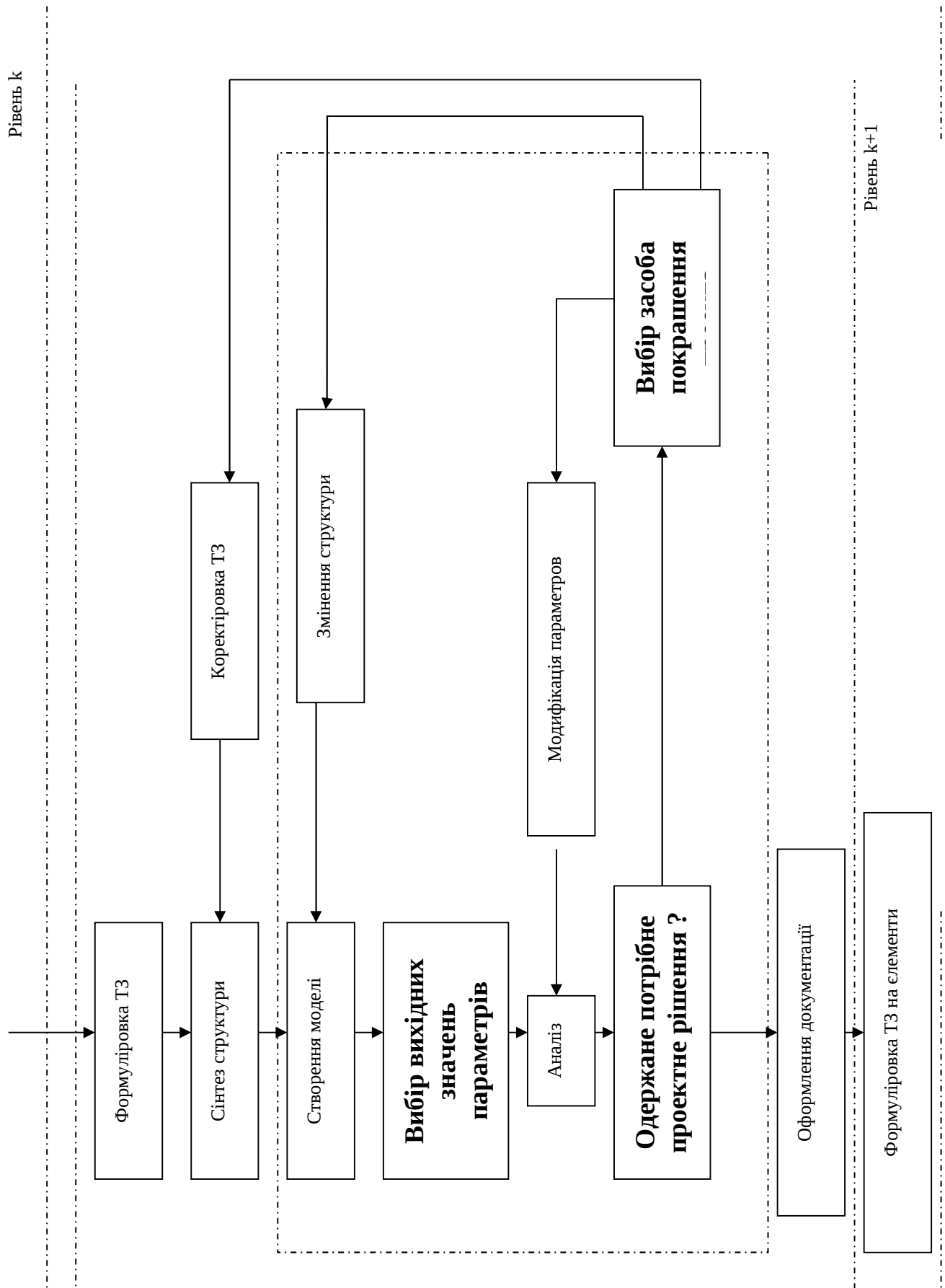


Рисунок 1.7 Схема процесу проектування

Математична модель об'єкту проектування

Розпізнавання при проектуванні складних систем є багаторівневим процесом. Воно характеризується послідовними етапами, передбаченими процедурною моделлю, на кожному з яких проектувана система одержує опис структури елементів об'єкту і параметрів. В зв'язку з цим опис об'єкту проектування можна назвати стратифікованим, що розвивається від «стислого» на етапах верхнього рівня процедурної моделі до «розгорненого» на нижніх.

Для використання ЕОМ опису об'єкту проектування повинно носити характер математичних моделей.

Для будь-якої ситуації рішень вони є безліччю співвідношень, що пов'язують дії (змінні, значення яких вибираються особою, що ухвалює рішення), що управляють, і параметри даного завдання з вихідними змінними (змінні, залежні від виду дій, що управляють).

У змістовному сенсі опис об'єкту проектування у формі математичної моделі повинен містити наступні компоненти і правила:

1. А - мета функціонування;
2. E(ei) -чисельність елементів складових систему;
3. T(tt) - чисельність елементів часу;
4. P(pi) - чисельність ознак тих, що характеризують систему в цілому;
5. Pe - чисельність ознак тих, що характеризують елементи системи;
6. S - чисельність станів елементів в даний проміжок часу;
7. H - правило впорядкування зміни станів в ході досягнення мети;
8. Q - правило зв'язків між всіма елементами системи;
9. F - математичні схеми відносини, що описують, ознаками елементів і ознакам систем;
10. Pc - безліч ознак, що визначають взаємодію системи з середовищем.

Система буде визначена, якщо визначені всі перераховані множини і правила 7 і 9.

Безліч цілей, ознак і елементів краще всього представляти у вигляді графів.

Безліч станів включає певний набір значень ознак системи, підсистеми або елементів у момент часу tt.

Окремі елементи або вся система за даний час $t_0 \dots t_k$ певне число раз переходить з одного стану в інший.

Єдиний перехід складає елементарну операцію:

$$O_{m_0} = S^t \succ S^{t+1},$$

де ST – стан; O_{m_0} - елементарна операція; $\succ$ - знак відношення порядку.

Вважається, що операція визначена, якщо для неї вказані: стан, кінцевий стан, порядок зміни станів системи, який може бути описаний рівнянням диференціальним, кінцевими автоматами, імовірнісними автоматами, ланцюгами Марков, булевими функціями, функціями предикат.

Взаємодія елементів визначається зв'язками

Процес проектування як перехід від одного опису до іншого може бути виражений залежністю:

$$O_0 = \tilde{O}P_1 \rightarrow \tilde{O}P_2 \rightarrow \dots \tilde{O}P_i$$

де O_0 - означає процес проектування

$\tilde{O}P_1 \dots \tilde{O}P_i$ - опис об'єкта проектування на різних етапах проектирования на разных этапах его разработки

Опис $\tilde{O}P_1$, визначаючий досягненні з его створенням і використанням, зветься *целевим*:

$$\tilde{O}P_1 = A_0$$

Опис $\tilde{O}P_2$, даючий уявлення об ідеї его технічного рішення, називається *концептуальним*:

$$\tilde{O}P_2 = (A_0, P)$$

Описание $\tilde{O}P_3$, дающее представление о функции объекта, назовем *функциональным*:

$$\tilde{O}P_3 = (Pc, H, S)$$

Математичні моделі, що відносяться до структурного опису системи, включають безліч елементів, що становлять систему E; безліч ознак, що характеризують елементи Pe; безліч зв'язків між всіма елементами системи Q:

$$\widetilde{OP}_4 = (E, Pэ, Q)$$

Динамічний опис включає математичні моделі, побудовані на безлічі ознак, що визначають взаємодії системи з середовищем Pc, на безлічі моментів часу T і математичних схемах, що описують відносини між ознаками елементів і ознаками системи:

$$\widetilde{OP}_5 = (Pc, T, F)$$

Опис, що визначає параметри об'єкту, називається параметричним. У його склад входить безліч параметрів:

$$\widetilde{OP}_6 = (P, P \dots Pi)$$

У даному розділі розглянуто загальне представлення опису і математичної моделі об'єкту проектування. Надалі його буде конкретизовано стосовно окремих процедур і операцій.

Методи пошуку технічних рішень

Детальні математичні дослідження проектного об'єкту, зокрема дослідження на основі оптимізаційних методів, в більшості випадків починаються після синтезу, оцінювання і відбору структурної схеми, тобто певного способу реалізації ТЗ: набору основних взаємодіючих підсистем і способів їх функціонування, основних параметрів і обмежуючих співвідношень між ними. Це не виключає застосування елементів оптимізації, кількісних методів на етапі вибору структурної схеми. Проте переважно етап пошуку структурної схеми є слабо формалізованим.

Розглянемо формалізовані методи пошуку технічних рішень, які підвищують якість проектних рішень шляхом збільшення числа різних варіантів (розширення поля пошуку), що дає можливість на основі подальшого застосування формалізованих методів оцінювання вибрати найбільш ефективний варіант. До формалізованих методів відносяться: асоціативні; контрольних питань; мозкового штурму; синектики; морфологічного аналізу; аналізу взаємозв'язаних областей рішення; функціонально-вартісного аналізу.

Асоціативні методи пошуку технічних рішень ґрунтуються на застосуванні в творчому процесі семантичних властивостей понять шляхом використання аналогій їх вторинних смислових відтінків. Основними джерелами для генерування нових ідей служать асоціації, метафори і випадково вибрані поняття.

Асоціація – зв'язок, що виникає за певних умов між двома або більш психічними утвореннями (відчуттями, руховими актами, сприйняттями, ідеями і т.п.).

Метафора – перенесення властивостей з одного предмету (явища) на інший на підставі загальної для обох ознаки.

До асоціативних методів відносяться методи фокальних об'єктів, а також гірлянд випадковостей і асоціацій.

Мета методу фокальних об'єктів – пошук нових модифікацій відомих способів і пристроїв. Суть цього методу фокальних об'єктів полягає в перенесенні ознак випадково вибраних об'єктів на удосконалюваний об'єкт, який лежить як би у фокусі перенесення. Алгоритм застосування методу:

- 1) вибір фокального об'єкту;
- 2) вибір трьох-чотирьох випадкових об'єктів;
- 3) складання списків ознак випадкових об'єктів;
- 4) генерування ідей приєднанням до фокального об'єкту ознак випадкових об'єктів;
- 5) розвиток одержаних поєднань шляхом вільних асоціацій;
- 6) оцінка одержаних ідей і відбір корисних рішень (доцільно доручити оцінку експерту або групі експертів, а потім спільно відібрати потрібні рішення).

Мета методу гірлянд випадковостей і асоціацій – знайти велику кількість підказок для нових ідей шляхом утворення асоціацій. Алгоритм застосування методу:

- 1) визначення гірлянди синонімів об'єкту;
- 2) довільний вибір гірлянди випадкових об'єктів;
- 3) утворення комбінацій з елементів гірлянд синонімів і випадкових об'єктів;
- 4) складання переліку ознак випадкових об'єктів (для зручності їх об'єднують в таблицю);
- 5) генерування ідей шляхом почергового приєднання до технічного об'єкту і його синонімів ознак випадково вибраних об'єктів;
- 6) генерування гірлянд асоціацій – по черзі з ознак випадкових об'єктів, виявлених на кроці 4, генеруються гірлянди асоціацій;

- 7) генерування нових ідей;
- 8) вибір альтернативи – на цьому кроці вирішують питання: продовжувати генерування гірлянд асоціацій або вже достатньо для відбору корисних ідей;
- 9) оцінка і вибір раціональних варіантів ідей;
- 10) відбір оптимального варіанту.

Метод контрольних питань. Мета методу – за допомогою навідних питань підвести проектувальника до рішення задачі. Метод контрольних питань може застосовуватися або у формі монологу проектувальника, зверненого до самого себе, або у формі діалогу, наприклад у вигляді питань, що задаються керівником членам групи проектувальників. Суть методу полягає в тому, щоб розглядати питання, що містяться в списку, і у зв'язку з ними вирішувати свою задачу.

Приклад. Список контрольних питань (варіант).

1. Яке нове застосування технічному об'єкту ви можете запропонувати? Чи можливі нові засоби застосування? Як модифікувати відомі засоби застосування?
2. Чи є у минулому аналогічні проблемні ситуації, які можна використовувати?
3. Які модифікації технічного об'єкту можливі?
4. Чи можливо збільшення часу служби? Збільшення частоти, розмірів, міцності?
5. Що можна в технічному об'єкті замінити? Що, скільки заміщень, чим? Інший інгредієнт? Інший матеріал? Інший процес? Інше джерело енергії? Інше розташування? Інший колір, звук, освітлення?
6. Що можна перетворити в технічному об'єкті? Які компоненти можна взаємно замінити? Змінити модель? Змінити розбиття, розмітку, планування? Змінити послідовність операцій? Змінити швидкість або темп? Змінити режим?
7. Які нові комбінації елементів технічного об'єкту можливі? Чи можна створити суміш, сплав, новий асортимент, комплекс? Комбінувати секції, вузли, блоки, агрегати? Комбінувати цілі?

Відомий запитальник, який містить, наприклад, такі питання:

- Як вирішити завдання, якщо не зважати на витрати, якщо від її рішення залежить життя людини, якщо технічний об'єкт буде використаний як іграшка, або якщо об'єкт є навчальним посібником, експонатом?
- Чи не можна знехтувати у минулому принципи рішення використовувати зараз при сучасній технічній нагоді?
- Чи можна передбачити результат рішення задачі через 10-15 років з урахуванням зростання суспільних потреб?
- Як виглядає перелік всіх основних недоліків відомих рішень? Яким повинне бути рішення, щоб усунути їх?

Приклад використання методу. Розробити перелік контрольних питань, що зменшує вірогідність створення неефективного варіанту технічного забезпечення абонентського пункту (АП) в мережі САПР.

Рішення (фрагмент):

- 1) Чи дозволяє АП оформляти вхідні документи?
- 2) Чи не використовуються дорогі матеріали для носіїв інформації на АП?
- 3) Яким чином забезпечується введення даних в АП?
- 4) Чи забезпечується контроль даних, що вводяться в АП?
- 5) Які можливості надає АП по виведенню інформації споживачам?
- 6) Чи можливий діалоговий режим взаємодії з ЕОМ?
- 7) Чи забезпечується зберігання інформації в АП?
- 8) Чи забезпечується захист від несанкціонованого доступу до даних в АП і т.д.

Метод мозкового штурму. Мозковий штурм – один з найбільш популярних методів активізації колективної творчої діяльності. Для усунення перешкод, що викликаються боязню критики, розділяються в часі процеси генерування ідей і їх критичної оцінки.

Алгоритм застосування методу:

- 1) Відбір групи осіб для генерування ідей і групи експертів;
- 2) Організація процесу генерування ідей;
- 3) Фіксація висунутих ідей;
- 4) Оцінка зафіксованих ідей за допомогою експертів і вибір найбільш раціональної з них.

Основні правила методу:

- 1) Задачу послідовно вирішують дві групи людей по 4 – 15 чоловік в кожній (оптимальний склад 6 – 12 чоловік). Перша група тільки висуває різні ідеї. Час роботи групи 20 – 40 хвилин. Друга група після закінчення роботи першою виносить думку про цінність висунутих ідей.
- 2) Основне завдання першої групи – видати за відведений час якомога більше ідей. Всі вони висловлюються без доказів і записуються в протокол або фіксуються на магнітофонній стрічці.
- 3) При генерації ідей утримуються від критики пропозицій, що висуваються учасниками.

- 4) Процесом рішення задачі управляє керівник, який забезпечує дотримання всіх правил.
- 5) Якщо завдання не вирішене, можна повторити процес рішення: краще зробити з іншим складом першої групи.

Метод синектики є розвитком і удосконаленням методу мозкового штурму. Методика проведення синектичного засідання запозичена з мозкового штурму, проте відрізняється від нього використанням прийомів психологічної настрійки, зокрема активним застосуванням аналогій. Алгоритм застосування методу:

- 1) Формулювання проблеми в загальному вигляді. На синектичні засідання запрошують експертів (фахівців у області даних проблем), які прояснюють проблемну ситуацію. Цей етап називається формулюванням «проблема як вона дана» (П2Д).
- 2) Початковий аналіз проблеми. Цей етап синектики проводять спільно з експертом. Етап називається формулюванням «проблема як її розуміють» (П2Р).
- 3) Генерування ідей рішень проблеми в тому її формулюванні, на якому заснований вибір. В ході цього етапу використовуються різні аналогії: прямі, особисті, символічні, фантастичні.
- 4) Перенесення одержаних в процесі генерації нових ідей до П2Р і П2Д і виявлення їх можливостей. Якщо одержана ідея за рішенням проблеми виявляється практично нереалізовуваною, необхідно повторити весь процес для розбору інших ідей.
- 5) Завершальна частина синектичного засідання – розвиток і максимальна конкретизація ідеї, визнаної найбільш вдалої (ведеться на спеціальній технічній мові).

Метод морфологічного аналізу. Мета методу морфологічного аналізу полягає в систематичному використанні всіх уявних варіантів, витікаючих із закономірностей будови (тобто морфології) удосконалюваної системи.

У удосконалюваній технічній системі виділяють декілька характерних для неї структурних або функціональних морфологічних ознак. Кожна ознака може характеризувати параметри або характеристики системи.

За кожною виділеною морфологічною ознакою складають список його конкретних різних варіантів, альтернатив. Ознаки з їх альтернативами можна розташовувати у формі таблиці, званої морфологічним ящиком, що дозволяє краще уявити собі пошукове поле. Перебираючи всілякі поєднання альтернативних варіантів рішення задачі, які при простому переборі могли бути упущені. Алгоритм застосування методу:

- 1) Точне формулювання завдання (проблеми), що підлягає рішенню.
- 2) Складання списку всіх морфологічних ознак, тобто всіх можливих характеристик об'єкту, його параметрів, від яких залежить рішення проблеми і досягнення основної мети.
- 3) Розкриття можливих варіантів за кожною морфологічною ознакою (характеристикою) шляхом складання матриці. Дуже важливо, щоб аж до даного етапу не ставилося питання про практичну здійсненність і цінність того або іншого варіанту рішення.
- 4) Визначення функціональної цінності всіх одержаних варіантів рішень. Повинні бути розглянуті всі варіанти рішень, витікаючих із структури морфологічної таблиці, і проведено порівняння поодиночці або декільком найбільш важливим для даної технічної системи показникам.
- 5) Вибір найбільш раціональних конкретних рішень.

Метод аналізу взаємозв'язаних областей рішення – один з найбільш ефективних і надійних методів пошуку нових технічних рішень. Початкові етапи методу аналізу взаємозв'язаних областей рішень нагадують метод морфологічного аналізу. Основна відмінність полягає в тому, що в даному методі часткові рішення можуть включати тільки практично здійсненні, а не всі можливі варіанти. Мета методу – виявити і оцінити всі сумісні комбінації часткових рішень проектної проблеми. Алгоритм застосування методу аналізу взаємозв'язаних областей рішення:

- 1) Виявлення декількох можливих варіантів в кожній області рішень;
- 2) Визначення варіантів, несумісних один з одним;
- 3) Перелік всіх наборів варіантів, які можна об'єднувати один з одним, не побоюючись їх несумісності;
- 4) За наявності єдиного критерію для вибору варіантів (наприклад, вартості) визначення сумісних наборів варіантів, що найкращим чином задовольняють даному критерію;
- 5) Вибір з сумісних варіантів найбільш прийнятної точки зору мети рішення проблеми.

Метод функціонально-вартісного аналізу. Функціонально-вартісний аналіз (ФВА) є методикою раціоналізації, тобто удосконалення процесів з метою зниження їх вартості і витрат переважно без зміни основних принципів, лежачих в їх основі. ФВА будується на тому, що деталь машини удосконалити легше, ніж машину в цілому. Застосування його дозволяє понизити вартість виробів на 5 – 20 %. ФВА проводять переважно постійно діючі дослідницькі групи чисельністю 3 – 6 чоловік. У їх числі обов'язково знаходяться конструктори, технологи і економісти. Алгоритм використання методу:

- 1) Підготовчий етап. Навчання фахівців основам ФВА, вибір об'єкту дослідження і визначення цілей аналізу.

2) Інформаційний етап. Систематизація інформації і її вивчення для опису об'єкту, з'ясування його фактичного стану; виявлення і формулювання функцій; побудова схеми взаємозв'язку основних частин досліджуваного об'єкту; визначення витрат на створення і функціонування об'єкту і його складових частин.

3) Аналітичний етап. Аналіз і уточнення функцій; розмежування і аналіз витрат, пов'язаних із здійсненням функцій; порівняння функцій, складових частин і витрат на їх здійснення з аналогами; формування завдань для пошуку нових ідей і варіантів оптимальних рішень.

4) Творчий етап. Вибір методів колективної творчості для пошуку нових рішень; організація і проведення нарад по висуненню ідей; обробка і систематизація результатів творчих нарад для їх подальшої оцінки.

5) Дослідницький етап. Оцінка здійсненості ідей з погляду матеріально-технічного, фінансового, виробничого забезпечення; визначення витрат і економічності виконання функцій для різних варіантів рішень; ранжирування варіантів і вибір оптимального.

6) Рекомендаційний етап. Оформлення рекомендацій по реалізації остаточно вибраних варіантів рішень з уточненням розрахунків ефективності; обговорення представлених рекомендацій комітетом ФВА і ухвалення рішень.

Метод рішення винахідницьких задач. Зміст методу полягає у виявленні технічної суперечності або його причини – фізичної суперечності – і усунення (дозволи) їх при переборі щодо невеликого числа варіантів.

Основні поняття про якість і патентну чистоту об'єктів нової техніки

Всі штучні об'єкти, ми називаємо їх виробами, створені для задоволення тих або інших потреб людини. Потреба в пересуванні задовольняється транспортними засобами, потреба в полегшенні і підвищенні продуктивності праці – різного роду технологічними машинами (верстатами, підйомними кранами, металургійними машинами і т.д.), ЕОМ підвищують продуктивність розумової праці. Вид потреби, що задовольняється, тобто призначення, виявляється головною ознакою, об'єднуючою багато різних по своїх властивостях виробів.

Під якістю продукції (виробів) розуміється сукупність її властивостей, які обумовлюють придатність задовольняти певні потреби стосовно призначення.

Підвищення якості машин проводиться по двох напрямках:

- 1) Вдосконалення серійних зразків;
- 2) Створення нових машин, що утілюють прогресивні конструктивні ідеї.

Якість машин залежить від сукупності багатьох чинників, серед яких найбільш істотні:

Інженерні – конструкція машини і технологія її виготовлення;

Виробничі – технічний рівень, стан технологічного оснащення і контрольно-вимірювальних засобів;

Постачальницькі – сортамент і якість матеріалів, що поставляються підприємству, і комплектуючих виробів;

Кваліфікаційні – знання і досвід зайнятих на підприємстві робочих і ІТР;

Організаційні – стан технологічної дисципліни;

Економічні – фінансування заходів щодо підвищення якості продукції, система матеріального стимулювання.

Потрібно пам'ятати, що підвищення якості невід'ємно пов'язане з додатковими витратами. Окупність додаткових витрат забезпечується підвищенням ефективності використання машин – зниженням витрат на технічне обслуговування і ремонт, поліпшенням умов праці і, як наслідок, підвищення вироблення.

Для оцінки якості машини користуються системою показників. Показником якості машини називається кількісний вираз одного або декількох її властивостей. Показники якості класифікують за наступними ознаками:

- 1) По кількості властивостей, що характеризуються: одиничні і комплексні показники. Перші виражають будь-яку одну властивість виробу, другі – одночасно декілька властивостей;
- 2) По відношенню до властивостей: надійності, ергономічності і др.;
- 3) За способом виразу: бальні і виражені іншими способами;
- 4) По методу визначення: визначувані органолептичними (органами чуття), соціологічними, експертними і іншими методами;
- 5) По стадії визначення: проектні (естетичні, ергономічні стандартизації, уніфікації і т.п.), виробничі (технологічність) і експлуатаційні (надійність і ін.);
- 6) По області застосування: до одиниці продукції, до сукупності одиниць продукції, до сукупності різномірної продукції;
- 7) По застосуванню для оцінки рівня якості: базові і відносні.

Проектована машина крім головної ознаки – призначення – характеризується рядом інших, деякі з яких виражаються кількісно, інші – якісно. Кількісні ознаки виступають в ролі параметрів. По ходу проектування багато ознак переходять з розряду якісних в розряд кількісних. Так, на етапі пошуку технічних

рішень, коли відображення варіантів обмежене принциповою схемою, важко оцінити кількісно, наприклад, технологічність виробу. Інша справа при розробці технічної документації. Оцінка якості відбувається на всіх етапах, проте, найбільш достовірні дані можна одержати при завершенні робіт.

У більшості країн світу діє законодавство про охорону прав винахідника. Документ, що засвідчує визнання пропозиції винаходом, пріоритет винаходу, авторство на винахід і виняткове право на нього, називається патентом. Технічні рішення, що підпадають під дію патенту, не можуть бути застосовані без згоди патентовласника. Порушення його прав у ряді країн карається арештом ввезеної продукції, накладенням штрафів, а іноді і тюремним висновком.

Об'єкти нової техніки повинні володіти патентною чистотою. Патентна чистота – це юридична властивість об'єкту техніки, що полягає в тому, що він може бути вільно використаний в даній країні без небезпеки порушення діючих на її території патентів на винахід. Таким чином, патентна чистота визначається стосовно конкретної країни. Так, наприклад, технічне рішення може володіти патентною чистотою у ФРН і не володіти в США.

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ОСНОВ КОНСТРУЮВАННЯ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ І ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

Проектування деталей з металів і сплавів

Основні способи проектування деталей наступні:

1. Лиття.
2. Деталі, одержані гарячою пластичною деформацією.
3. Одержані холодним штампуванням.
4. Одержані шляхом зварки.
5. Одержані методом паяння.
6. Деталі, що піддаються механічній обробці.
7. Деталі, що піддаються термообробці.
8. Деталі, що піддаються електрофізичній і електрохімічній обробці.
9. Деталі, що одержуються гальванічно.
10. Одержувані напиленням.
11. Одержувані витискуванням.

Деталі, одержані литтям

Металоемні деталі, що мають складну форму, звичайно виготовляються методом лиття. Найширше застосовуються наступні способи лиття: у піщані разові форми, в кокілі, під тиском, в оболонкові форми, по моделях, що виплавляються, і відцентрове лиття.

Для отримання якісних і економічних відливків необхідно виконувати наступні вимоги:

1. Стінки литої деталі слід виконувати однакової товщини, при цьому товщина внутрішніх стінок повинна складати 0.7 ... 0.8 товщини зовнішніх.
2. Відливання повинне мати плавні переходи між різними перетинами, а також ребра жорсткості в небезпечних перетинах, що запобігає виникненню внутрішніх напруг і тріщин.
3. Конфігурація зовнішніх і внутрішніх контурів відливання повинна бути такою, щоб число роз'ємів було мінімальним і по можливості виключати застосування відокремлених частин на моделях
4. Відсутність тіньових ділянок при уявному освітленні деталі паралельними променями в напрямі, перпендикулярному до площини роз'єму форми, свідчить про технічно правильну конструкцію деталі (рис.2.1).

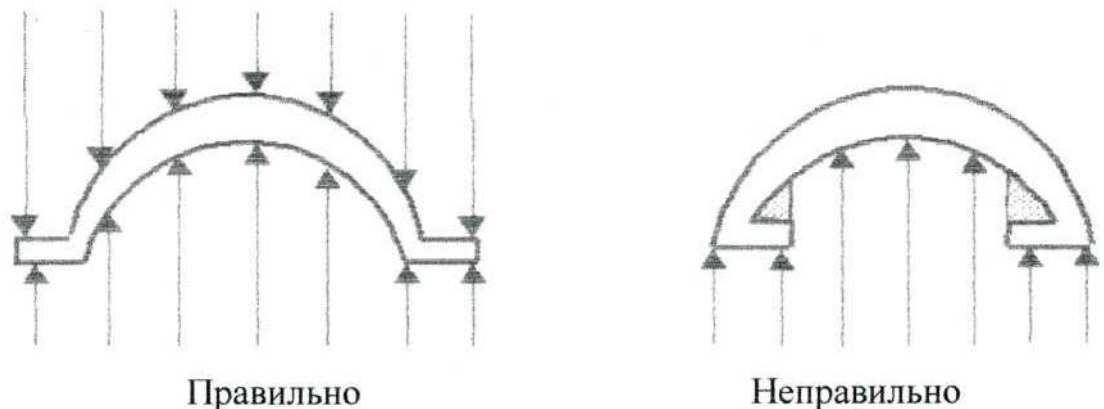


Рисунок 2.1. Вимоги до проектування литих деталей

Деталі, що одержуються гарячою пластичною деформацією

У металургійному машинобудуванні широко застосовуються ковальські заготовки у вигляді кованих або штампованих поковок.

Основними способами формоутворення поковок є кування і штампування на молотах, пресах, горизонтально-кувальних машинах.

Рекомендації по конструюванню деталей, що виготовляються куванням наступні:

1. Уникати конічних форм, особливо з малою конусністю.
2. Уникати клинових форм, особливо з малим ухилом.
3. Взаємних перетинів циліндрових поверхонь.
4. **Взаємних перетинів циліндрових поверхонь з призматичними ділянками деталей.**
5. По можливості призначати односторонні виступи натомість двосторонніх.
6. Уникати ребристих перетинів, ребра жорсткості в поковках не призначати.
7. Не передбачати великих виступів і інших подібних елементів на основному тілі поковки.
8. Деталі з великою різницею в перетинах замінювати поєднанням декількох простих зварних деталей.

Деталі, що одержуються холодним штампуванням

Вирубка, пробивка. Для виготовлення деталей різної конфігурації і габаритів з масового матеріалу $t = 0,05 \dots 25$ мм застосовують вирубку і пробивку.

Гнуття. В процесі вигину відбувається розтягування зовнішніх шарів матеріалу, причому тим більше, чим менше радіус вигину.

Витягування. В процесі витяжки плоска заготовка протягом однієї або декількох операцій перетворюється на порожнисту деталь.

Віборткування. Процес утворення борту навколо отвору називається віборткуванням

Деталі, що одержуються за допомогою зварки

При проектуванні зварної конструкції необхідно враховувати наступні рекомендації:

1. Кількість зварних з'єднань повинна бути найменшою.
2. Габаритні розміри зварних вузлів повинні забезпечувати можливість їх обробки в термічних печах, оскільки для забезпечення найбільшої міцності зварних з'єднань і зняття зварювальних напруг часто потрібна подальша термообробка.
3. Якщо з яких-небудь причин термообробка зварних деталей виключається, міцність зварних з'єднань може бути збільшена в результаті усунення кромek елементів конструкції на невеликій ширині.
4. Необхідно симетрично розташовувати зварні з'єднання в конструкції і передбачати мінімально можливі перетини зварних швів для запобігання надмірним зварювальним деформаціям.
5. Щоб уникнути виникнення тріщин не слід допускати перетину зварних швів.
6. Зварні шви не можна розташовувати поблизу елементів жорсткості, оскільки в цьому випадку можуть утворюватися тріщини в зварному з'єднанні.

Деталі, що одержуються за допомогою паяння

При конструюванні паяних виробів необхідно враховувати такі рекомендації:

1. Число паяних з'єднань в конструкції повинне бути обмеженим.
2. Паяні з'єднання слід: рівномірно розташовувати по виробу, по можливості в менш навантажених місцях.
3. Необхідно правильно нагрівати основний метал, враховуючи реальні умови роботи проектованої конструкції і вимоги до герметичності, міцності і інших показників.
4. Слід правильно вибирати припой.
5. При необхідності проведення зварки після паяння необхідно застосовувати припої, що є пластичними сплавами, не схильними до розтріскування (наприклад, припої на никель-хромовій основі).
6. У з'єднанні слід забезпечувати капілярний зазор, при якому створюються необхідні умови перебігу припою, оскільки із збільшенням зазора вище певного значення міцність з'єднання зменшується.
7. У зоні з'єднання не повинно бути замкнутих порожнин, в яких повітря або інші гази при паянні можуть збиратися, збільшуватися в об'ємі і служити причиною появи неспаев, пір і раковин.
8. При конструюванні паяних з'єднань з елементів різної товщини необхідно передбачати плавний перехід від одного перетину до іншого в місці з'єднання, оскільки в цьому випадку в паяних швах під навантаженням виникають значно менші напруги.

Деталі, що піддаються механічній обробці

Основними критеріями технологічності деталей, що піддаються механічній обробці, є точність і стабільність отримання геометричних розмірів і шорсткості поверхні, а також трудомісткість обробки.

Для зменшення трудомісткості механічної обробки необхідно передбачати максимальну кількість поверхонь, що не вимагають механічної обробки, можливо менші розміри поверхонь, що піддаються обробці, а також мінімальні припуски на обробку.

При проектуванні деталей необхідно враховувати наступні рекомендації:

1. Оброблювані поверхні повинні бути доступні для ріжучого інструменту і для вимірювання.
2. Оброблювані і необроблювані поверхні слід чітко розмежовувати.
3. Точні і співісні отвори повинні бути крізними, гладкими, і розташовувати їх слід так, щоб забезпечувалася можливість обробки їх на прохід з однієї установки (різні по величині співісні отвори повинні бути такими, що убувають по діаметру в одному напрямі).
4. Довжина отворів не повинна перевищувати 10 діаметрів свердла.
5. Бажано всі отвори виконувати крізними.

Деталі, що піддаються термообробці

Одним з основних критеріїв технологічності деталей є правильний вибір матеріалу.

Слід враховувати, що чим вище твердість яка призначається, тим вірогідніше поява тріщин унаслідок залишкових напруг.

Дрібні, прості за формою деталі менш схильні до викривлення, повідці і утворенню тріщин.

Необхідно застосовувати низьколеговані сталі для деталей складної конфігурації із змінними перетинами, слід передбачати гарт в мастилі.

Деталі, що піддаються електрофізичній і електрохімічній обробці

Загальні характерні особливості:

- незалежність оброблюваності матеріалу від твердості і в'язкості;
- практично відсутність силової дії на оброблюваний виріб;
- можливість автоматизації процесу;
- можливість копіювання форми інструменту одночасно по всій поверхні заготовки.

Обробки: електроерозійна (електроімпульсна, електроіскрова); анодно-механічна; ультразвукова; променева; магнітоімпульсна; електрохімічна (анодно-абразивна, електро-алмазная).

Деталі, що одержуються гальванопластикою

Призначена для економічного і ефективного отримання металевих виробів складної форми, з рельєфною і фактурованою поверхнею.

Є процесом отримання точних негативних металевих копій шляхом електроосадження металу або сплаву металів на відповідну модель. Модель із струмопровідного матеріалу служить катодом, а пластини облягаючого металу або сплаву — анодом.

Для отримання більш рівномірного осаження металу необхідно, щоб глибина паза не перевищувала половини його ширини, а внутрішні і зовнішні кути мали радіуси закруглення.

Деталі, що одержуються плазмовим напиленням

На модель, що є негативом матриці, що виготовляється, напилюється в плазмовому струмені шар металу товщиною 5 ... 15 мм.

Методом плазмового напилення можна накласти шари з тугоплавких і жароміцних матеріалів.

Метод рекомендується для виготовлення матриць замкнутого контура, що не мають глибоких пазів, великих поглиблень і виступів.

Проектування деталей з пластмас

Загальні вимоги:

- деталь повинна мати технологічні ухили;
- у деталях не повинно бути елементів, що перешкоджають витяганню їх з форми;
- деталі повинні мати закруглення;
- деталі повинні мати однаковими або близькими по значенню;
- деталі повинні бути по можливості компактними, без консольних виступів значної довжини, необхідно вводити ребра жорсткості (60 - 80% від товщини стінок).

Деталі з пластичних мас одержують пресуванням, литвом під тиском і литвом у форми.

конфігурація деталей повинна бути по можливості найбільш простою, щоб не виникала необхідність в застосуванні роз'ємних матриць;

при виборі матеріалу повинно бути враховано вплив середовища, в якому знаходитиметься деталь при експлуатації.

При конструюванні необхідно враховувати, що найбільший ступінь викривлення спостерігається у великих плоских деталей, що не мають ребер жорсткості, у різновисщинних деталях або деталей з односторонньою арматурою. Тріщини виникають унаслідок надмірних внутрішніх напруг в деталях із значною різновисщинністю, за відсутності достатніх радіусів закруглень і неправильної установки металевої арматури. Тріщини і коробины можуть виявитися не відразу після її виготовлення, а при її експлуатації.

За наявності радіусів закруглень полегшується перебіг маси у формі, зменшується знос прес-форми, полегшується витягання деталей з форми, поліпшується їх зовнішній вигляд.

Рекомендовані радіуси закруглень залежно від висоти стінки деталі показані на рис.2.2

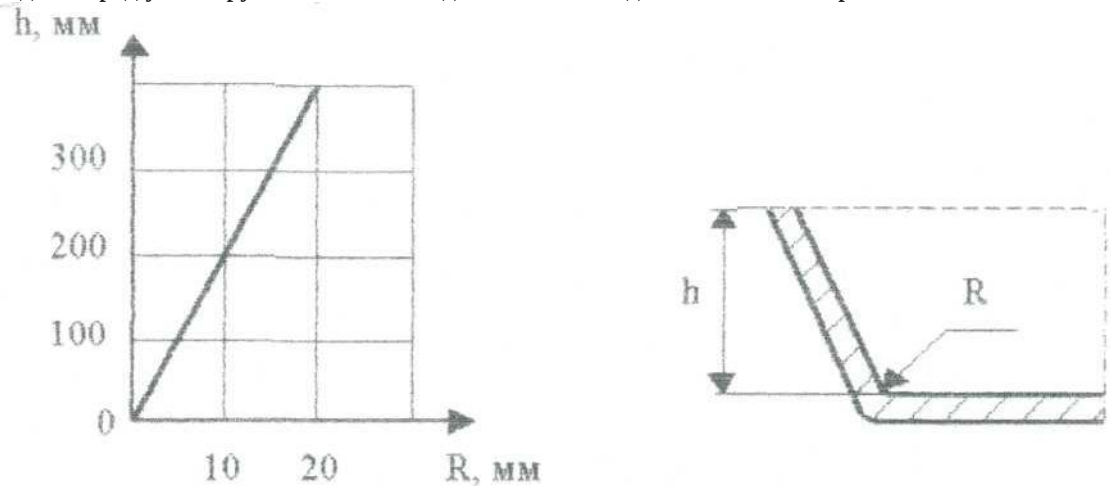


Рисунок 2.2.Требования до проектування деталей з пластмас

Арматура

Для підвищення міцності і жорсткості пластмасових виробів або для збірки окремих елементів у виріб застосовується арматура. Досвідчено арматуру встановлюють в деталь безпосередньо під час формування. При цьому в результаті усадки матеріалу, різниці коефіцієнтів теплового лінійного розширення пластмаси і металу, створюється міцне нероз'ємне з'єднання (мал. 2.3).

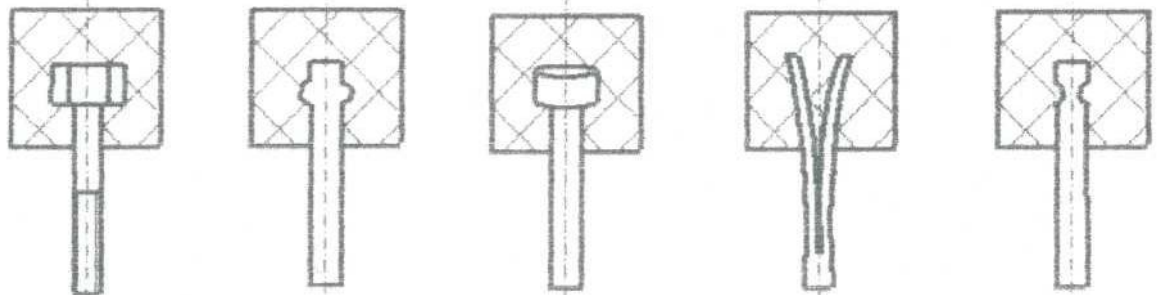


Рисунок 2.3. Приклади закріплення арматури в пластмасових деталях

Утворення похідних машин на базі уніфікації

Уніфікація є ефективним і економічним способом створення на базі початкової моделі ряду похідних машин однакового призначення, але з різними показниками потужності, продуктивності і т.д. або машин різного призначення, що виконують якісно інші операції. В даний час склалося декілька напрямів рішення цієї задачі.

1 Секціонування.

Метод секціонування полягає в розділенні машини на секції і утворення похідних машин набором уніфікованих секцій.

Секціонуванню добре піддаються багато видів транспортно-підйомних пристроїв (стрічкові, скребкові, ланцюгові транспортери).

Секціонування в даному випадку зводиться до побудови каркаса машин з секцій і складанню машин різної довжини з новим несучим полотном.

2. Метод зміни лінійних розмірів.

При цьому методі з метою отримання різної продуктивності машин і агрегатів змінюють їх довжину, зберігаючи форму поперечного перетину. Метод застосовний до обмеженого класу машин, продуктивність яких пропорційна довжині ротора (шестерінчасті і лопаточні насоси, мішалки, вальцові машини).

Ступінь уніфікації при цьому методі невеликий. Уніфікуються тільки торцеві кришки корпусів і допоміжні деталі.

Окремим випадком застосування даного методу є збільшення навантаженості зубчатих передач збільшенням довжини зубів коліс із збереженням їх модуля.

3. Метод базового агрегату.

У основі цього методу лежить застосування базового агрегату, що перетворюється на машини різного призначення, приєднанням до нього спеціального устаткування. Найбільше застосування метод має у виготовленні самохідних кранів, дорожніх машин, навантажувачів, укладальників.

4. Конвертація.

При методі конвертації базову машину або основні її елементи використовують для створення агрегатів різного призначення. Прикладом конвертації може служити переклад поршневих двигунів внутрішнього згорання з одного виду палива на інший.

Бензинові карбюраторні двигуни легко конвертуються в газові. Авіадвигун встановку для очищення доріг.

6. Компаундування.

Метод того, що компаундування (паралельного з'єднання машин або агрегатів) застосовують з метою підвищення загальної потужності або продуктивності установки. Спарювані машини можуть бути встановлені поряд як незалежні агрегати, або пов'язані один з одним синхронізаторами, транспортними пристроями, або конструктивно об'єднані в один агрегат.

Прикладом поєднання першого типу є парна установка судових двигунів, що працюють кожен на свій гвинт, а також установка двох або більшого числа двигунів в крилах літака.

Прикладом поєднання другого типу є паралельна установка машин групами. Її застосовують в автоматичних лініях, коли продуктивність окремої машини, що входить в потік, значно поступається продуктивності всієї лінії.

6. Модифікування.

Модифікуванням називають переробку машини з метою пристосування її до інших умов роботи, операцій і видів продукції без зміни основної конструкції.

Модифікування машин для роботи в різних кліматичних умовах наприклад, зводиться переважно до заміни матеріалів.

7. Агрегатування.

Агрегатування полягає в створенні машин шляхом поєднання уніфікованих агрегатів, які є автономними вузлами, що встановлюються в різному числі і комбінаціях на загальній станині.

Якнайповніший вираз цей принцип одержав в конструкції металообробних верстатів. Велика частина виробу в процесі обробки залишається нерухомою. До нього з різних сторін підводять відповідним чином настроєні блоки, операції обробки відбуваються одночасно, що прискорює технологічний процес.

Основні переваги агрегатування: скорочення термінів і вартості проектування і виготовлення машин, спрощення обслуговування і ремонту; можливість переналадки машин для обробки різноманітних деталей.

8. Комплексна нормалізація.

Цей метод близький до агрегування і застосовується для агрегатів простого типу (випарних установок, смесеприготовительных установок). Простота конструктивних форм цих агрегатів дозволяє нормалізувати всі або майже всі елементи їх конструкцій.

Уніфікація конструктивних елементів

Уніфікація полягає в багатократному застосуванні в конструкції одних і тих же елементів, що сприяє скороченню номенклатури деталей і зменшенню вартості виготовлення, спрощенню експлуатації і ремонту.

Уніфікація конструктивних елементів дозволяє скоротити номенклатуру оброблювального, мерильного і монтажних інструментів.

Уніфікації піддають посадочні сполучення, різьбові з'єднання, шліцьові з'єднання, шпонки, зубчаті зачеплення, фаски, галтелі і т.д.

Уніфікація марок і сортаменту матеріалів електродів, типорозмірів кріпильних і інших нормалізованих деталей, підшипників кочення і т.д. полегшує постачання заводу-виготівника і ремонтних підприємств. Ступінь уніфікації оцінюють коефіцієнтом уніфікації.

$$A) h_{ун} = \frac{Z_{ун}}{Z} \cdot 100\%,$$

де: $Z_{ун}$ – число уніфікацій;

Z – загальне число деталей;

Маса уніфікації до загальної маси виробу:

$$B) h_{ун} = \frac{\sum G_{ун}}{G} \cdot 100\%$$

До вартості виробу:

$$B) h_{ун} = \frac{\sum C_{ун}}{C} \cdot 100\%$$

Ступінь внутрішньої уніфікації оцінюють коефіцієнтом повторюваності

$$h_n = \left[1 - \frac{N_n}{N_\partial} \right] \cdot 100\%,$$

де: N_n – число найменувань деталей виробу

N_∂ – загальне число деталей виробу на підставі вільної специфікації.

У хороших конструкціях $h_n = 40...60\%$

Диференціальна оцінка.

1. Ступінь уніфікації оригінальних деталей:

$$h_{ун.ор.} = \frac{N_{ун.ор.}}{N_{ор.}} \cdot 100\%,$$

де: $N_{ун.ор.}$ – число уніфікованих оригінальних деталей

$N_{ор.}$ – загальне число оригінальних деталей.

2. Елементів конструкції:

$$h_{эл} = \left[1 - \frac{N_{мп}}{N_{эл}} \right] \cdot 100\%,$$

де:

$N_{\text{тр.}}$ – число прийнятих типоразмерів

$N_{\text{эл.}}$ – загальне число даних елементів у виробі.

Наприклад, ступінь уніфікації резьб:

$$h_{\text{кр}} = \left[1 - \frac{N_{\text{тр.рез}}}{N_{\text{рез}}} \right] \cdot 100\% ,$$

де:

$N_{\text{тр.рез.}}$ – число типоразмерів резьб

$N_{\text{рез.}}$ – загальне число резьб з'єднання.

Наприклад, кріпильних деталей:

$$h_{\text{кр}} = \left[1 - \frac{N_{\text{тр.кр.}}}{N_{\text{кр.}}} \right] \cdot 100\% ,$$

де:

$N_{\text{тр.кр.}}$ – число типоразмерів кріпильних деталей

$N_{\text{кр.}}$ – загальне число кріпильних деталей у виробі.

Технологічність конструкції

Під технологічністю конструкції розуміється властивість пов'язану з можливістю і трудомісткістю її виготовлення

Перелік показників технологічності:

I. По трудомісткості:

Трудомісткість виготовлення виробу.

Трудомісткість виготовлення по видах робіт.

Трудомісткість підготовки виробу до функціонування

Трудомісткість профілактичного (технічного) обслуговування

Трудомісткість ремонту виробу.

II. За собівартістю:

Технологічна собівартість виробу.

Собівартість підготовки виробу до функціонування.

Собівартість профілактичного обслуговування виробу.

Собівартість ремонту виробу.

III. По уніфікації і взаємозамінюваності:

Коефіцієнт уніфікації виробу.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів.

Коефіцієнт стандартизації виробу.

Коефіцієнт повторюваності.

Коефіцієнт взаємозамінюваності.

IV. По витраті матеріалу:

Маса виробу.

Коефіцієнт використання матеріалу.

Коефіцієнт застосовності матеріалу.

V. По обробці:

Коефіцієнт точності обробки.

Коефіцієнт шорсткості поверхні.

VI. По складу конструкції:

Коефіцієнт сборности.

Коефіцієнт перспективного використання в інших виробках.

Зменшення теплових напруг і деформації

В процесі роботи машини і її деталей підвищення температури відбувається не тільки в двигунах внутрішнього згорання, турбінах, компресорах, т. е. у машинах, де виділення робочого тепла є слідством робочого процесу, але і в "холодних" машинах. Деталі, схильні до циклічних навантажень, нагріваються в результаті пружного гістерезису при багатократному повторенні навантаження-розвантаження.

Підвищення температури супроводжується зміною лінійних розмірів деталей і може викликати небажані високі напруги аж до руйнування.

Одне із завдань конструювання - передбачити можливі межі лінійних розширень деталей в механізмі при його роботі і локалізувати або виключити небажані наслідки цього явища.

Способи зниження - перш за все в зменшенні причини виникнення нерівномірності температурного поля по перетину деталі.

Повністю або частково усунути за рахунок введення в її конструкцію температурних швів.

Основні конструктивні прийоми:

1) вибір правильних торцевих зазорів, що виключають затискання однієї деталі іншої;

2) вибір фіксуючих баз з таким розрахунком, щоб не порушувалася розрахункова точність взаємного розташування деталей.

Слід уникати фіксації деталей, схильних до теплової дії, в двох точках.

Доцільно вдаватися до коректування форми деталей при нагоді сильного нагріву.

У деяких конструкціях також доцільно передбачати інтенсивніше відведення тепла, використовуючи тепловідвідні ребра або примусове відведення тепла у вигляді вентиляторів.

Зміцнення конструкцій

Зміцнення конструкцій засноване на створенні в конструкції напруг, зворотних по знаку робочим напругам. Застосовують два такі зміцнення: пружне і пластичне.

Пружне зміцнення полягає в тому, що системі наперед додають деформації, протилежні деформаціям при робочому навантаженні. Такі зміцнення застосовують переважно в будівельних конструкціях.

При пластичних зміцненнях ділянки матеріалу, найбільш навантажені в робочому стані, заздалегідь піддають пластичній деформації, створюючи в них залишкові напруги, протилежні робочим по знаку.

Розрізняють наступні види пластичного зміцнення:

1) зміцнення перевантаженням — дія на деталь підвищеної сили того ж напрямку, що і робоча. При знятті навантаження в поверхневих шарах деталі, виникають напруги, протилежні по знаку, що виник в результаті дії підвищеної сили. Тоді при прикладенні навантаження залишкові напруги протидіятимуть, тим що виникають від робочого навантаження, і деталь можна навантажити істотно більшою силою. Такий метод застосовується для сталевих балок, товстостінних судин, артилерійських стовбурів;

2) зміцнення наклепанням — ущільнення поверхневого шару металу на глибину 0,2 ... 0,8 мм і створення в ньому сприятливих для міцності напруг стиснення;

3) - об'ємне ущільнення - глибоке стиснення ділянок деталі, що випробовують при робочому навантаженні напруги розтягування;

4) - термічне зміцнення — виникнення при нерівномірному нагріві в гарячих ділянках деталі напруги стиснення, а в холодних -напруження розтягування. При достатньо великих температурних перепадах з'являються місцеві пластичні деформації, які можна використовувати для зміцнення.

Класичним прикладом цього способу зміцнення є шпренгельні балки (рис. 2. 4, а).

У систему вводять тензори — стрижні з високоміцного матеріалу. Натягуючи стрижні, в балці створюють попередні напруги (рис. 2.4, б) на стороні, найближчій до стрижнів - напруга стиснення (-), а на протилежній стороні - напруга розтягування (+). Додаток робочого навантаження $P_{\text{роб}}$ викликає напругу зворотного знаку (рис. 2.4, в).

Складання попередніх і робочих напруг істотно зменшує кінцеві напруги в балці (рис. 2.4, г)

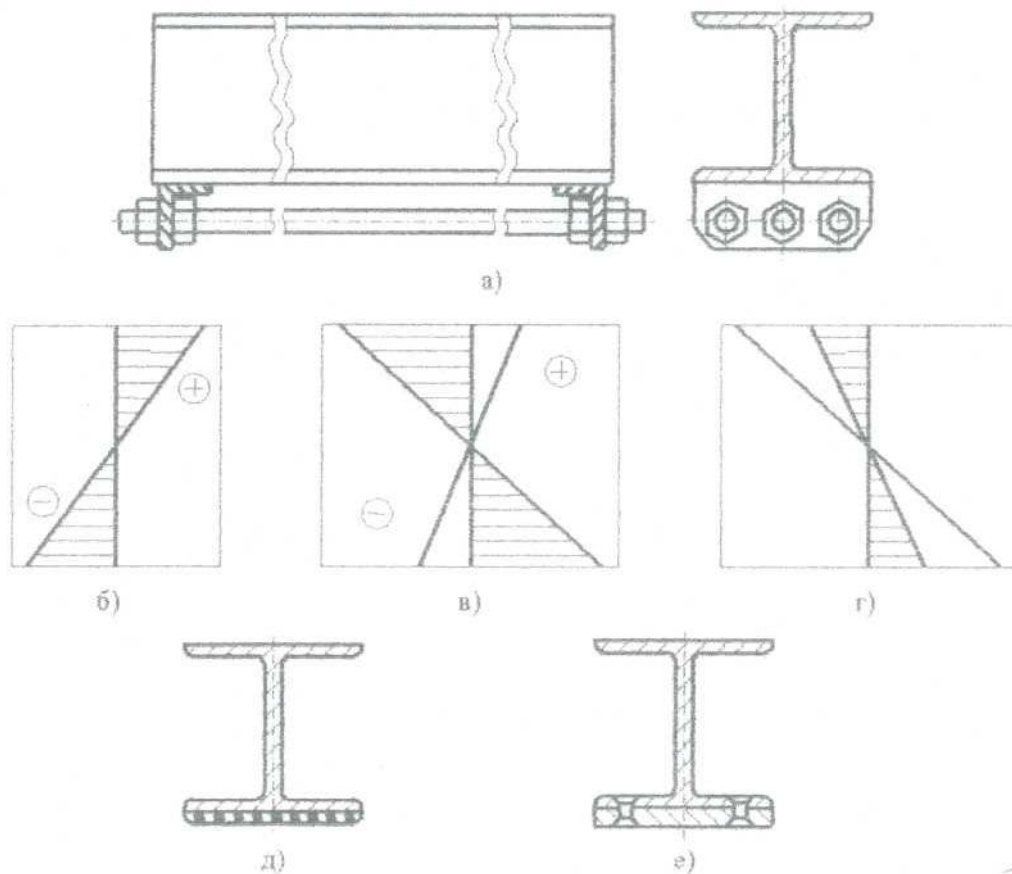


Рисунок 2.7. Способи пружного зміцнення конструкцій.

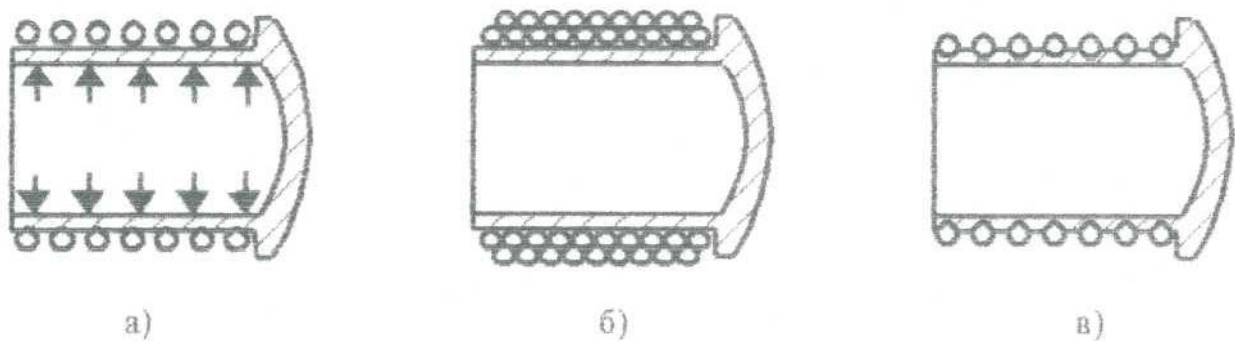
Освоєно виробництво заздалегідь напружених балок. У полку, протилежну дії навантаження (рис. 2.4, д), закладають стрижні з високоміцного дроту, заздалегідь напружене механічно або термічно (нагрівом). Такі балки можна без порушення переднатягу різати на шматки довільної довжини.

У конструкції на рис. 2.4, е до нижньої полиці прикріплена заздалегідь напружена накладка з високоміцної листової сталі. До сталевих балок накладки приварюють, до балок з легких сплавів - приклепують.

Інший приклад пружного зміцнення - скріплення резервуарів, виконаних з легких сплавів шляхом намотування сталевого дроту (або стрічки) в один або декілька рядів (рис. 2.5, а, б, в). При намотуванні в стінках судини створюються напруги стиснення (г), які, віднімаючись з напруг розтягування, що виникають під дією внутрішнього тиску (д), значно зменшують кінцеві напруги в стінках судини (е).

При відомих співвідношеннях, напруги в стінках судини під робочим навантаженням можуть бути рівні нулю або навіть зберігати негативний знак.

Вякості зміцнюючих елементи застосовують холоднотягнутий дріт і прутки, а також холоднокатану стрічку, що володіють значно вищою міцністю, ніж масивні гарячекатані профілі.



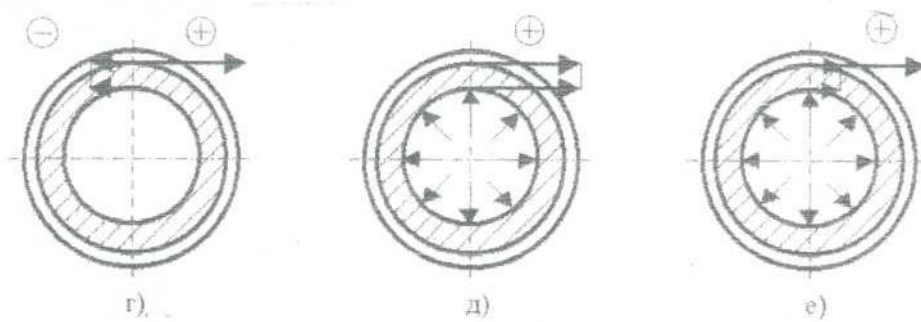


Рисунок 2.8. Способи пружного зміцнення резервуарів.

Зміцнення перевантаженням. Зміцнення перевантаженням полягає в дії на деталь підвищеної сили того ж напрямку, що і робоча, що викликає пластичні деформації найбільш напружених ділянок.

При вигині бруса поперечною силою P (рис. 2.6, а) у верхніх волокнах матеріалу виникають напруги стиснення, а в нижніх — розтягування.

Піддамо брус дії досить великої сили P , що викликає пластичні деформації крайніх волокон (рис. 2.6, б). Верхні волокна коротшають, а нижні - подовжуються. Центральні волокна залишаються в стані пружної деформації. Після зняття зміцнюючого навантаження серцевина, повертаючись в початковий стан, розтягує стислі верхні волокна і стискає розтягнуті нижні волокна, викликаючи в них напруги, зворотні по знаку робочим напругам; у серцевині виникають реактивні напруги (рис. 2.6, в).

Якщо напружений таким чином брус піддати дії робочого навантаження $P_{\text{роб}}$ (рис. 2.6, г), то залишкове і робочі напруги алгебрично складаються. Результуючі напруги в крайніх волокнах опиняються істотно меншим за напруги, що виникають в брусі, не підданому зміцненню (рис. 2.6, д). Отже, не переходячи допустимої межі напруг, можна навантажити брус значно більшою силою.

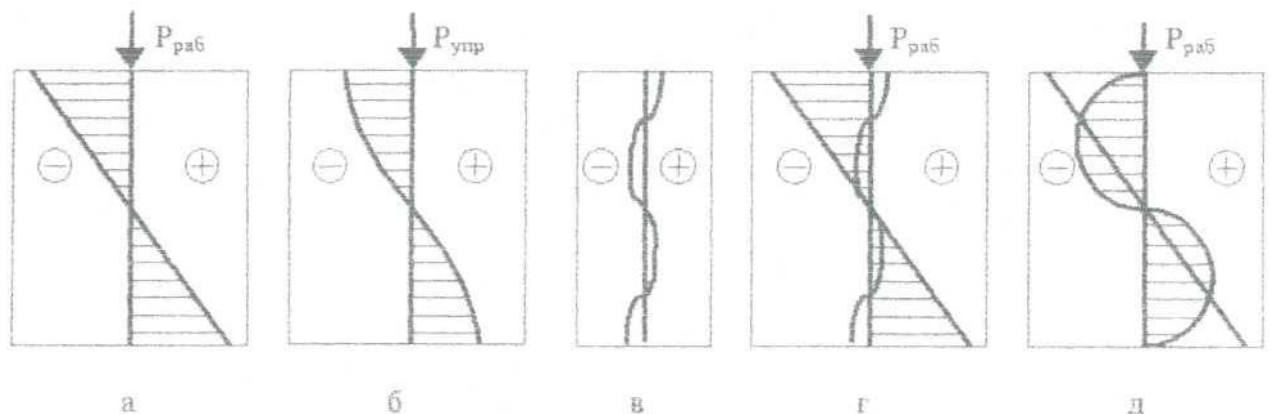


Рисунок 2.9. Механічні напруги при пластичному зміцненні

Метод перевантаження застосовують також для зміцнення стрижнів, що працюють на кручення. Стрижень піддають дії підвищеного крутячого моменту M , що викликає в крайніх волокнах перетинів стрижня пластичні деформації зрушення.

Після зняття навантаження пружна серцевина стрижня розправляється захоплюючи за собою пластично деформовані волокна і викликаючи в них напруги, зворотні по знаку напругам зрушення від робочого навантаження.

Якщо тепер прикласти до стрижня робочий що крутящий момент $M_{\text{роб}}$, то статочні напруги складаються з робочими, знижуючи результуючі напруги. На цьому принципі засновано зміцнення спіральних пружин шляхом заневолювання (витримка пружини під підвищеним осьовим навантаженням).

Зміцнення перевантаженням застосовно тільки для матеріалів, що володіють достатньою пластичністю. У крихких матеріалах перенапруження може викликати в розтягнутих шарах мікротріщини і надриви, що виводять деталь з ладу. Тому величину пластичної деформації обмежують, допускаючи перенапруження не вище 1,1-1,20.

Слід враховувати, що всякий вид перенапруження зміцнює матеріал тільки проти дії навантаження одного напрямку і розмійнює при дії навантаження протилежного напрямку.

Таким чином, цей спосіб можливо застосувати застосовний при навантаженнях постійного напрямку, пульсуючих, а також знакозмінних з переважанням навантаження одного напрямку (асиметричні цикли).

Всяка система, що знаходиться під дією навантажень постійного напрямку і виготовлена з достатньо пластичного матеріалу, володіє до певної міри властивістю *самозміцнення*. Тимчасове підвищення робочого навантаження до величини, що викликає помірні пластичні деформації, зміцнює систему. Якщо ж деталь випробовує змінні навантаження, то перехід за межу текучості під дією навантаження одного напрямку ослабляє матеріал проти дії навантаження протилежного напрямку. Позитивною стороною методу перевантаження є те, що при ньому вибірково зміцнюються найбільш напружені ділянки.

Об'ємне ущільнення полягає в глибокому обтисканні ділянок деталі, що випробовують при робочому навантаженні напруги розтягування. Деталь піддають обтисканню на стадії заготовки в холодному або напівпластичному стані (тепла деформація).

Приклади об'ємного зміцнення показані на рис. 2.7, а, б, в (обжаті зони зачорнені).

Балки зміцнюють прокатуванням полиць, фасонні деталі - обтисканням найбільш напружених на розтягування елементів; плоскі деталі опресовуванням з торців; деталі типу кілець — ексцентричним розкочуванням і накоченням.

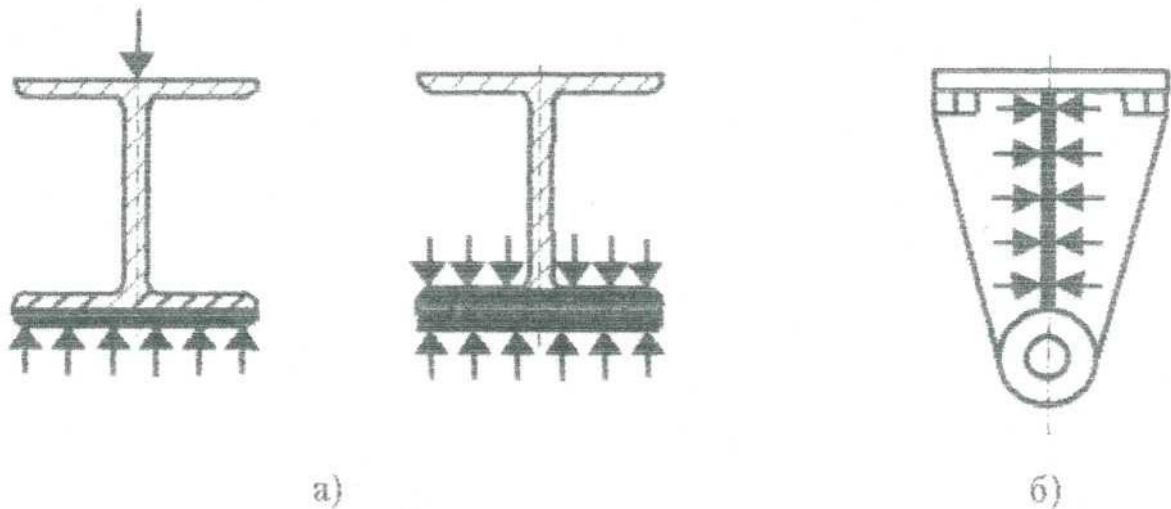


Рисунок 2.10. Приклади об'ємного ущільнення

Модернізація конструкцій

Одним з основних принципів конструювання є створення такої конструкції, яка дозволяла б подальше її вдосконалення.

Початковими передумовами для такого вдосконалення є або узагальнені дані за наслідками експлуатації машини, у тому числі і додаткові вимоги, виявлені в процесі експлуатації машини, або новітні, винаходи або раціоналізаторські пропозиції, які з'явилися після ухвалення машини до серійного виробництва.

Конструктивне удосконалення машини викликане перерахованими причинами, називається **модернізацією**.

Метою модернізації є отримання приросту ефективності у сфері експлуатації або виробництві, тобто або зниження витрат на виготовлення і експлуатацію, або зростання продуктивності при збереженні первинних витрат на виробництво і експлуатацію.

Досвід показує, що приступати до модернізації доцільно лише у тому випадку, коли в результаті такої модернізації ефективність модернізованої машини перевершить початковий зразок не менше ніж на 15 - 20%, а окупність витрат на модернізацію за часом не перевищує 1,5-2 роки.

Розрізняють два види модернізації: часткову і повну.

Часткова модернізація машини поширеніший вид модернізації і полягає в удосконаленні одного або декількох складових частин машини. Повна модернізація торкається машини в цілому.

Пристосованість машини до модернізації дозволяє систематичне вдосконалення.

Основним завданням конструктора при проведенні як частковій так і повній модернізації, є всемірне дотримання вимог застосовності, тобто забезпечення конструкційно-функціональної взаємозамінюваності модернізованих частин машини.

При будь-якій модернізації необхідно особливо ретельно стежити за збереженням незмінності геометричних розмірів привалочних посадочних і роз'ємних розмірів модернізованих складальних одиниць і деталей.

Необхідно дотримуватися наступних основних принципів:

1. Принципу найбільшої експлуатаційної продуктивності.
2. Принципу найменшої вартості виробництва і експлуатації.
3. Принципу найменшої матеріаломісткості і енергоємності.
4. Принципу найбільшої надійності.
5. Принципу оптимальної уніфікації і стандартизації.

Конструктивні методи полегшення деталей

Найбільшого зниження маси деталей можна добитися шляхом додання їм повної рівномірності.

Рівномірності вузлів полягає в тому, що всі їх деталі повинні мати однакові напруги (при однакових матеріалах) або рівні запаси міцності (при різних по міцності матеріалах).

Ідеальним є випадок, коли напруга в кожному перетині деталі по її подовжній осі в кожній точці цього перетину однаково. Такий випадок можливий тільки при деяких видах навантаження, коли навантаження сприймає весь перетин деталі — при розтягуванні-стисненні і частково при зрізі.

При вигині, крученні і складних навантажених станах напруги по перетину розподіляються нерівномірно. Вони мають найбільшу величину в крайніх точках перетину, а в інших можуть знижуватися до нуля.

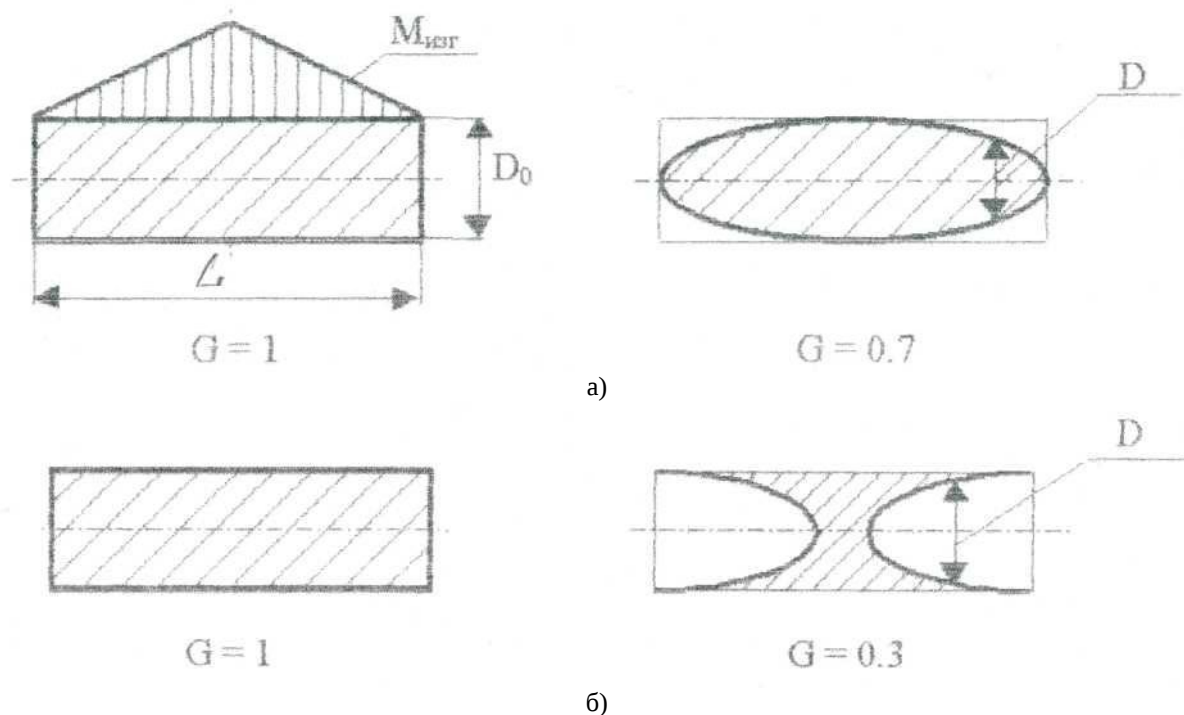
У цих випадках можна тільки наблизитися до умови повної рівномірності шляхом вирівнювання напруг по перетину видаленням металу з найменше навантажених ділянок і зосередження його в найбільш навантажених місцях.

Найбільш ефективним методом зниження маси крупних деталей для випадків вигину і кручення є їх проектування порожнистими.

Можна рекомендувати наступні конструктивні методи зниження маси G деталей (рис. 2.8, а, б, в, г):

1. Забезпечення рівномірності за рахунок зміни зовнішньої конфігурації деталі уздовж зовнішньої осі (рис. 2.8, а);
2. Забезпечення рівномірності за рахунок видалення матеріалу зсередини при постійному зовнішньому діаметрі (рис. 2.8, б);
3. Забезпечення рівномірності порожнистої деталі за рахунок зміни її зовнішньої конфігурації (рис. 2.8, в);
4. Забезпечення рівномірності порожнистої деталі за рахунок зміни конфігурації її внутрішньої порожнини (рис. 2.8, г).

З видно, що найбільша економія матеріалу досягається у варіантах 2 і 4.



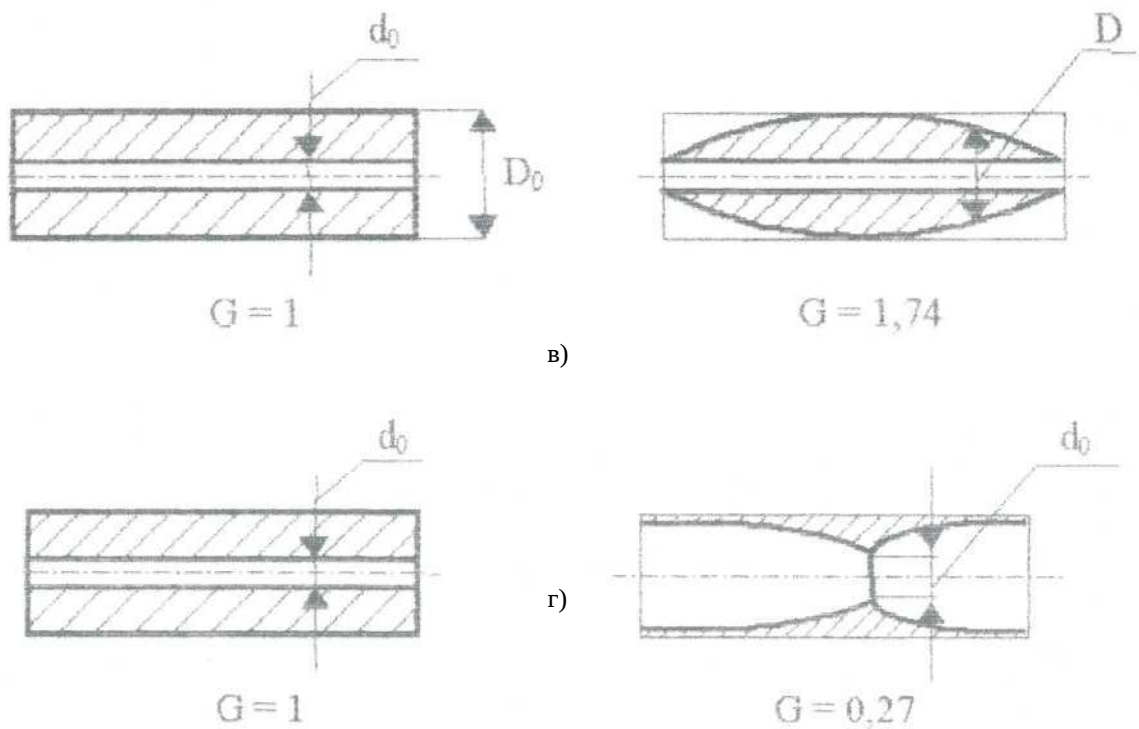


Рисунок 2.12. Конструкційні методи полегшення деталей.

У випадках, коли умову рівномірності забезпечити не вдається із-за складної конфігурації деталі або невизначеності діючих на ній напруг, масу деталі слід зменшувати шляхом видалення матеріалу з менш напружених ділянок, що знаходяться в стороні від основного силового потоку або поза ним.

Наприклад — видалення зовнішніх кутів щік колінчастого валу, сил, що не беруть участь в передачі (рис. 2.9)

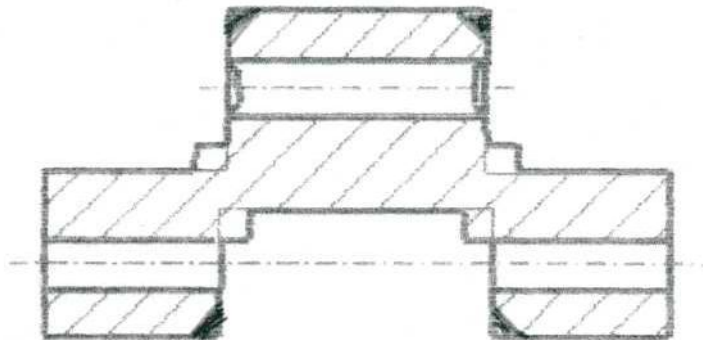


Рисунок 2.9

Виріз у клеминого з'єднання не вплине на міцність кріплення клеми на вал (Рис.2.10)

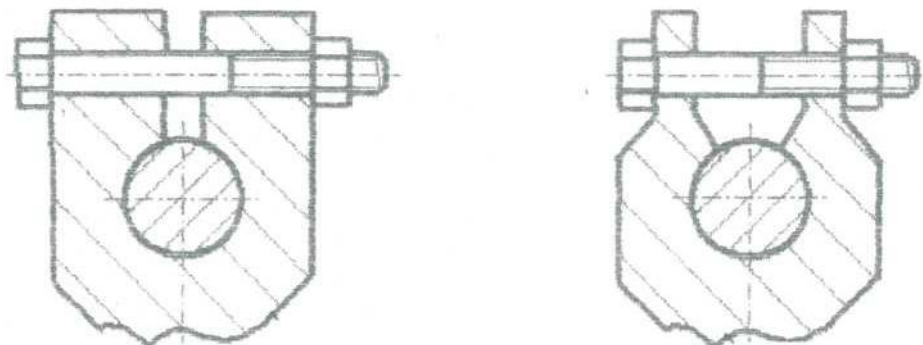


Рисунок 2.10

У деталей фланцевого типа помітного зменшення маси можна добитися зміною зовнішнього контура фланця. Радіус розташування кріпильних отворів у всіх випадках однаковий. (рис. 2.11)

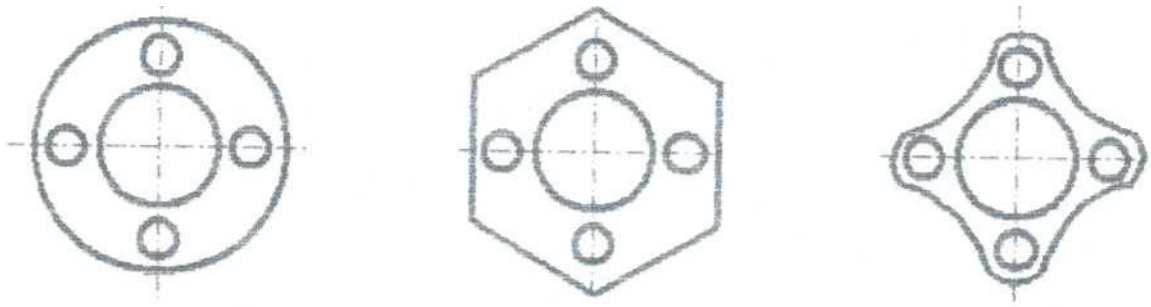


Рисунок 2.11

Істотний вплив на зниження маси надає доцільне конструювання галтелів, скосів і конусів, а також застосування масових штампованих і зварних деталей конструкцій.

Основними методами скорочення маси конструкції в цілому є:

1. Раціональний вибір виду вантаження;
2. Зменшення числа ланок конструкції;
3. Забезпечення компактності конструкції;
4. Вибір раціональної силової схеми, а також використання сучасних методів прогресивних розрахунків і застосування високоміцних матеріалів.

Силовa схема раціональна, якщо діючі сили замикаються на короткій ділянці за допомогою елементів, що працюють імовірно на розтягування або стиснення.

Наприклад, привід машини за допомогою ланцюгової передачі через редуктор нераціональний, оскільки веде до зростання габаритних розмірів і маси.

Значно доцільніший привід від фланцевого електродвигуна через співісний редуктор, змонтований безпосередньо на корпусі машини. В цьому випадку реактивні сили приводу врівноважуються найкоротшим шляхом в корпусі редуктора, не викликаючи додаткових навантажень на елементи системи. Габаритні розміри установки різко скорочуються.

Уточнення розрахункових напруг

Звичайні методи розрахунку дозволяють визначити напруги задовільним ступенем точності лише для порівняно небагатьох простих випадків вантаження. Іноді величина і розподіл вантажень в тілі деталей не піддається розрахунку.

До нерозрахункових деталей відносяться корпусні і базові деталі (станини і ін.).

Ефективність методу уточнення напруги і зменшення запасів міцності як засоби зниження загальної маси машин залежить від співвідношення маси розрахункових і нерозрахункових деталей.

Необхідно вказати, що розрахунки деталей засновані на спрощення, які не завжди витримуються в реальних умовах.

Головні чинники, які обумовлені відхилення дійсних величин напруг і запасів міцності від величин, визначуваних розрахунком, наступні:

1. Розсіювання характеристик міцності матеріалу в порівнянні з номінальними значеннями що представляють собою середньостатистичне з ряду випробувань зразків;
2. Неоднорідність зразків;
3. Зміна міцності матеріалу залежно від характеру навантаження (швидкість і тривалість навантаження);
4. Відхилення розрахункової схеми від дійсних умов вантаження;
5. Відхилення фактичної величини діючих сил від номінальних значень;
6. Відхилення фактичної величини напруг від номінальних значень, обумовлюється впливом пружності системи;
7. Ігнорування в розрахунку міцності і жорсткості деталей, сполучаємих з деталей, що розраховується;
8. Місцеві напруги на ділянках закріплення деталей і прикладення сил;
9. Додаткові сили і напруги унаслідок неточності виготовлення, монтажу, установки (наприклад, підвищений тиск кромek із-за неспіввісності або перекосів опор);
10. Перевантаження унаслідок перевищення розрахункових режимів в експлуатації;
11. Внутрішні напруги, що виникають при виготовленні деталей, а також обумовлені макро- і мікронеоднорідністю матеріалу;
12. Зміна характеристик міцності у зв'язку з підвищенням температури при роботі деталей.

Розрахунок по формулах опору матеріалів, заснований на методі плоских перетинів Бернуллі і однорідності напруженого стану по довжині деталі (принцип Сен-Венана), застосовний до деталей великої довжини L при відносно малих розмірах d поперечного перетину ($L / d > 5$), тобто до деталей типу балок* стрижнів і інших елементів конструкцій.

У інших випадках, на ділянках прикладання навантажень, в опорах, на місцях закріплення виникають напруги, які охоплюють значні зони і розповсюджуються в глиб матеріалу, іноді на всю довжину, і різко змінюючи напружений стан.

Крім того, не можна розглядати деталь ізольовано, замінюючи дію зв'язаних деталей зосередженими або розподіленими силами.

Характерною особливістю деталей металургійного обладнання є складність їх форм і змінність перетинів, унаслідок чого велику роль грають місцеві напруги, які деколи у вирішальному ступені визначають міцність.

Якщо деталь посаджена в опорах з натягом, то на насадочних ділянках виникають додаткові напруги зім'яття і стиснення. У з'єднаннях із зазором при зміні напрямку або при пульсації навантаження виникають удари, що викликають додаткові напруги.

У деталях тих, що працюють на зріз, поверхня що зрізається ділянки піддається по контуру зрізу підвищеним напругам того, що зім'яло і зрушення внаслідок чого виникають мікротріщини і пластичні зрушення.

Звідси витікає важливе правило конструювання з'єднань, що працюють на зріз, - твердість тієї, що зрізається і зрізаючих деталей повинна бути по можливості однаковою, чим вища поверхнева твердість деталей, тим надійніше з'єднання застраховане від руйнування.

Вплив пружності системи

Розглянемо випадок осі, опертої по кінцях і згинаємою центральним навантаженням (Табл. 2.1)
Для схеми 1 одержимо:

$$S_1 = \frac{Pl}{W}; \quad f_1 = \frac{Pl^3}{48EI},$$

де S_1 - напруги;

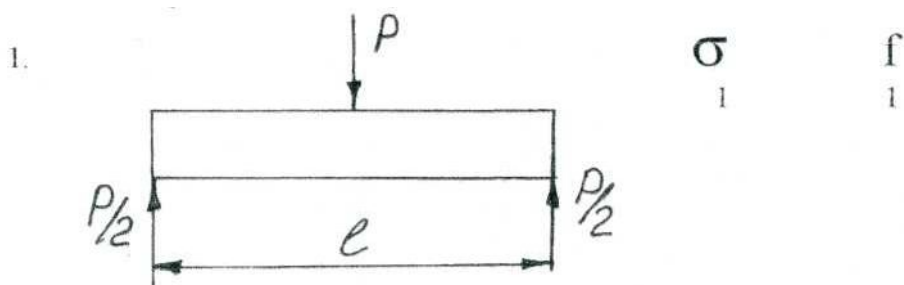
f_1 -прогиб;

W -момент опору перетину при прогині;

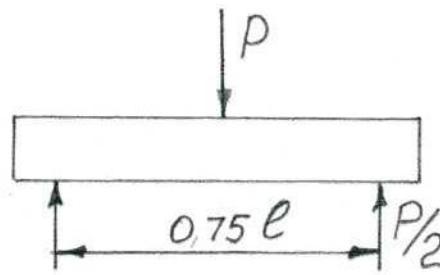
E -модуль пружності;

I -момент інерції перетину.

Таблиця 2.1 Схеми вантаження



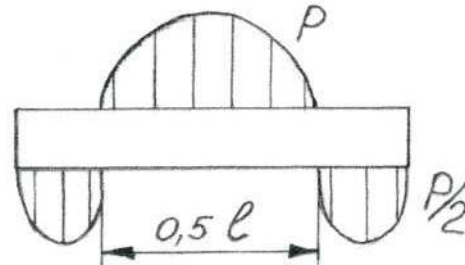
2.



0.75

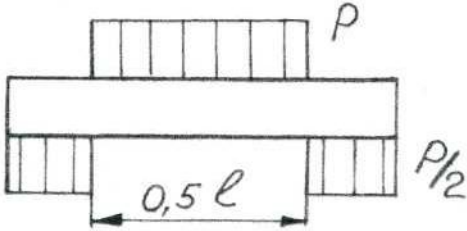
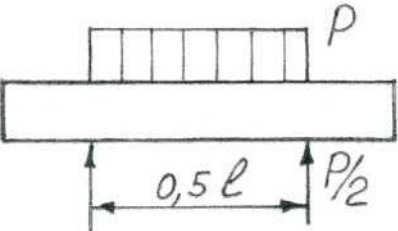
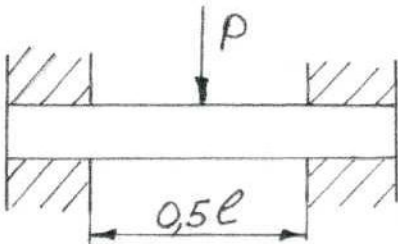
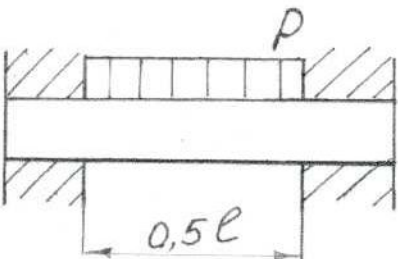
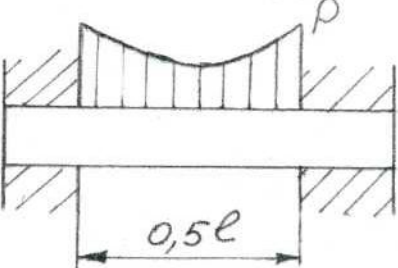
0.42

3.



σ
0.56

f
0.36

4.		0.5	0.25
5.		0.25	0.078
6.		0.25	0.03
7.		0.083	0.0156
8.		0.04	0.008

З даних приведених в таблиці видно, що пружність системи і умови додатку навантаження роблять величезний вплив на міцність і жорсткість. У розглянутих схемах вплив напруг може бути в 25, а прогин приблизно в 125 разів (схема 8) менший, ніж в початковій схемі 1.

Схема вантаження і закон розподілу навантажень залежать не тільки від конструкції, але і від деформативності вузла, визначуваної діючими в ньому напругами, матеріалом і геометрією деталей, що сполучаються.

Однією з причин неточності розрахунку є скрутність визначення у ряді випадків дійсної величини діючих навантажень. Особливе це відносять до змінних, пульсуючих і ударних навантажень.

Чим більша пружність системи, тобто чим довше і податливіше деталі, менше їх перетини, моменти інерції і модуль пружності їх матеріалу, тим менша фактична сила, що діє на деталі, і в тим більше ослабленому вигляді приходять сили до останніх ланок механізму. Введені пружні зв'язки в систему різко знижують максимальні напруги в системі.

Збільшення маси проміжних деталей підвищує миттєве значення максимальних сил, що діють на попередні деталі, і зменшує сили, що діють на подальші деталі.

Має значення і швидкість наростання навантаження в системі. Чим більша ця швидкість, тобто чим більше навантаження наближається до ударної, тим вище напруга в системі. Проте і міцність матеріалу значно зростає із збільшенням швидкості вантаження.

Це обумовлено відставанням внутрішньокристалічних пластичних деформацій, що відбуваються з відносно невеликою швидкістю, від наростання напруг.

Найбільш чутливі до швидкості деформації пластичні метали, зокрема низковуглецеві сталі, у яких відмічено підвищення динамічної міцності в 2,5-3 рази в порівнянні із статичною.

Основні критерії працездатності і розрахунку деталей машин і обладнання

Працездатність і надійність деталей машин характеризується певними критеріями. Поодинокі або декільком з цих критеріїв ведуть розрахунок, мета якого — визначення розмірів і матеріалів деталей.

Найважливіші критерії: міцність, жорсткість, зносостійкість, теплостійкість, вібростійкість.

Навантаження на деталі машин і напруги в них, як відомо, можуть бути постійними і змінними.

Деталі, що піддаються постійним напругам в чистому вигляді, в машинах майже не зустрічаються. Постійне, нерухоме в просторі навантаження викликає в деталях, що обертаються (валах, осях, зубах зубчатих коліс), змінні напруги.

Проте деякі деталі працюють з малозмінними напругами, які можна прийняти при розрахунках за постійні.

До таких деталей можуть бути віднесені деталі з великими сипи тяжкості (у транспортних і підйомно-транспортних машинах), деталі з великим початковим затягуванням (заклепки, частини кріпильних болтів, пружини).

Змінні напруги, перш за все, характеризуються циклом зміни напруг. Наступні цикли зміни напруг:

а) віднульовий цикл, в якому напрузі міняються від нуля до максимуму (зуби зубчатих коліс, що працюють в один бік, штоки, штовхачі);

б) знакозмінний симетричний цикл, в якому напруги міняються від негативного до такого ж позитивного (напруги вигину у валах, що обертаються, і осях);

в) асиметричний, знакопостійний (гвинти, пружини) або знакозмінний цикл.

Змінні режими можуть бути регулярними, тобто з постійною амплітудою і нерегулярними, з непостійними амплітудами.

Навантаження можуть змінюватися плавно або прикладатися раптово (удари). Існуючі ударні навантаження діють в машинах ударної дії і в транспортних машинах.

Вибір коефіцієнта запасу міцності є відповідальним завданням для конструктора (Табл. 2.2).

Розрахунки в припущенні несприятливих поєднань характеристик матеріалів, навантажень і т.д. приводять до непотрібного обважнення деталей. Тому в даний час переходять на розрахунки по заданій вірогідності безвідмовної роботи.

Розрахунки на міцність ведуть по номінальних напругах, що допускаються, по коефіцієнту запасу міцності (запасам міцності) або по вірогідності безвідмовної роботи.

Таблиця 2.2. Орієнтовні значення коефіцієнта запасу міцності

Умови виготовлення	Условия розрахунку	Вимоги до надійності, довговічності, ергономічності		
		зниженні	середні	підвищенні

підвищені	Підвищені Середні знижені	(1,0..1,1) (1,2..1,4) (1,4..1,7)	1,1..1,2 1,4..1,6 1,6..2,0	1,2..1,4 1,5..1,8 1,8..2,3
знижені	Підвищені Середні знижені	2,2..2,9 2,4..3,2 2,6..3,5	2,6..3,5 2,8..3,9 3,1..4,2	(3,0..4,0) (3,3..4,5) (3,6..5,0)

(-) по можливості не застосовувати.

Для конструкцій, руйнування яких особливо небезпечне для життя людей (вантажопідйомні машини, парові котли і т.д.) коефіцієнт запасу міцності, а також методи розрахунку регламентуються нормами Держтехнагляду.

Жорсткість, тобто здатність деталі чинити опір зміні форми під дією сил є поряд з міцністю, одним з найважливіших критеріїв працездатності машини.

У багатьох деталях машин напруги значно нижче за граничні (наприклад, в станинах прокатних станів) і розміри таких деталей диктуються саме умовами жорсткості.

Актуальність критерію жорсткості безперервно зростає, оскільки вдосконалення матеріалів відбувається головним чином у напрямі збільшення міцностних характеристик, тоді як модуль пружності підвищується значно менше, або навіть зберігається постійним, як, наприклад, у сталей.

Вимоги до жорсткості деталей машин визначаються:

1. Умовами міцності деталі;
2. Умовами працездатності деталі спільно із зв'язаними деталями, наприклад, жорсткість валів визначає задовільну роботу підшипників, а також передач;
3. Умовами динамічної стійкості (відсутність резонансу коливань або неприпустимих автоколивань);
4. Технологічними умовами (неможливістю високопродуктивної обробки);
5. Умовами задовільної роботи машини в цілому.

Жорсткість деталей машин приблизно визначається власною жорсткістю деталей, що розглядаються як бруси, пластини або оболонки з опорами, що ідеалізуються, визначаються контактною жорсткістю, тобто жорсткістю поверхневих шарів в місцях контакту.

Для більшості деталей при дії значних навантажень основне значення мають власні деформації. У точних машинах при відносно малих навантаженнях і ненапружених стиках (взаємно рухомих деталей) контактні деформації в балансі переміщень грають вельми істотну і навіть превалюючу роль.

Контакт деталей може бути в умовах:

1. Початкового торкання в крапці або по лінії куль або циліндрів;
2. Великої номінальної площі торкання.

У обох випадках контактні переміщення істотні у зв'язку з малою фактичною площею контакту.

Контактні зближення гладких однорідних тіл з початковим торканням в крапці або по лінії, обчислюються за допомогою теорії Герца. Контактні зближення при великій номінальній площі контакту визначають на основі експериментально встановлених коефіцієнтів контактної податливості. Для направляючих прямолінійного руху контактні зближення на 1МПа тиску в кожному стикі складають близько 10 мкм при ширині граней до 60 мм і до 40 мкм при ширині — 400 мм. При посадках підшипників кочення на вал і в корпус, деформації складають 0,1 - 0,6 мкм на 1МПа.

Втрата деталями стійкості характеризується тим, що вони, знаходячись під навантаженням, після додаткової деформації на малу величину в межах пружності не повертаються в первинний стан.

Стійкість є критерієм, що визначає розміри:

- А) довгих і тонких деталей, що працюють на стиснення;
- Б) тонких пластин, схильних до стиснення в площині пластини;
- В) оболонок, схильних до зовнішнього тиску.

Зношування – процес руйнування і відділення матеріалу з поверхні твердого тіла і (або) накопичення його залишкової деформації при терті. Знос виявляється в поступовій зміні розмірів і (або) форми.

Знос обмежує довговічність деталей по наступним критеріям працездатності машини:

1. По втраті точності;
2. По зниженню КПД, збільшенню витоків;
3. По зниженню міцності унаслідок зменшення перетинів, збільшення динамічних навантажень, нерівномірного зносу опор;
4. За збільшенням шуму;
5. По повному стиранню;

Види зношування:

1. Механічні;

2. Молекулярно-механічне зношування (зношування при схоплюванні). Схоплювання відбувається унаслідок молекулярних сил при терті;

3. Корозійно-механічне зношування, яке супроводжується хімічною або електричною взаємодією матеріалу з середовищем.

При абразивному зношуванні, а також при терті з малим тиском, без змащувального матеріалу показник зношування m близький до одиниці; при терті без змащувальних матеріалів із значним тиском $m = 1 \dots 2$, в середньому 1,5; при напіврідкому мастилі $m = 3$.

Теплостійкість пов'язана з роботою машин.

Робота машин супроводжується тепловиділенням, що викликається робочим процесом машин, і тертям в їх механізмах.

Тепловиділення, пов'язане з робочим процесом, особливо інтенсивно у теплових двигунів, електричних машин, ливарних машин, і машин для гарячої обробки матеріалів.

В результаті нагріву можуть виникати наступні шкідливі для роботи машин явища:

1. Пониження несучої здатності деталей, спостережувані у деталей із сталей при температурах вище 300..400°C і у деталей з більшої частини пластмас при температурах вище 100..150°C. Це пов'язано з пониженням основних механічних характеристик матеріалів, з окрихчуванням – втратою пластичності в часі і з підвищенням повзучості (мала безперервна пластична деформація при тривалому вантаженні).

Повзучість дуже небезпечна у зв'язку з можливістю вибірки зазорів у деталей, що обертаються або поступально переміщуються:

2. Пониження захисної здатності масляного шару, що розділяє деталі машин, що труться, і як наслідок, поява підвищеного зносу або «заїдання»;

3. Зміна зазорів в рухомих з'єднаннях унаслідку зворотних температурних деформацій;

4. Зміна властивостей поверхонь, що труться, наприклад, зниження коефіцієнта тертя в гальмах;

5. Пониження точності машини унаслідок зворотних температурних деформацій.

На точність і працездатність машини впливають температурні деформації:

1. Що викликаються рівномірним нагрівом деталей з конструкційних матеріалів з різними коефіцієнтами лінійного розширення;

2. Що викликаються нерівномірним нагрівом у зв'язку з наявністю місцевих джерел теплоти і із загальною швидкою зміною температури в приміщенні, оскільки дрібні деталі швидко досягають нової температури, а крупні – поволі.

Надійність (загальна) – властивість виробу виконувати в продовж заданого часу або заданого напруцювання свої функції, зберігаючи в заданих межах експлуатаційні показники.

Надійність виробів обумовлюється їх безвідмовністю, довговічністю, ремонтпридатністю і сохрانیстю.

Безвідмовність – властивість зберігати працездатний стан в продовж заданого напруцювання без вимушених перерв. Ця властивість особливо важлива для машин, відмови яких пов'язані з небезпекою для життя людей (наприклад, літаки).

Довговічність – це властивість виробу зберігати працездатний стан з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонту.

Теротехнологія походить від грецького слова "терейн" — підтримка, збереження.

Відмічені особливості металургійного виробництва і устаткування вимагають комплексного підходу до забезпечення необхідної ефективності функціонування обладнання. Такий підхід полягає в рішенні проблем проектування у взаємозв'язку з його виготовленням, експлуатацією, технічним обслуговуванням, ремонтом і модернізацією. Цей підхід передбачає створення системи забезпечення ефективного функціонування агрегатів і обладнання з урахуванням вказаних чинників протягом всього терміну служби і складає предмет науки, яка одержала назву "теротехнологія".

Теротехнологія - це технологія забезпечення ефективного функціонування обладнання протягом всього терміну служби з урахуванням технологічних, технічних і організаційних чинників і зв'язків між ними, заснована на безперервному виявленні і усуненні причин, що знижують ефективність функціонування.

Вибір матеріалу і профілю прокату при проектуванні

Вибираний матеріал повинен володіти певними механічними і технологічними властивостями, необхідною корозійною стійкістю, а також задовольняти деяким спеціальним вимогам, залежним від конкретних умов експлуатації.

Кожна з деталей, вживаних в складальній одиниці, повинна відповідати комплексу експлуатаційних вимог, основними з яких є добре сполучення складальної одиниці з іншими деталями, можливість швидкої заміни, надійність в роботі, розрахункова міцність. В першу чергу звертають увагу на ці вимоги. Проте в сучасних умовах, коли гостро відчувається необхідність економії енергетичних і природних ресурсів, разом з експлуатаційними вимогами слід враховувати і вимоги ефективного конструювання. Під ефективністю слід розуміти економічність конструювання, причому не в рамках

експлуатаційних якостей в галузі, а на рівні економічного ефекту в н/г. Відповідно до цього міняються вимоги до конструкції деталей. Деталь повинна при максимальній несучій здатності володіти мінімальною масою, виготовлятися з матеріалу невисокої вартості, мати тривалий термін експлуатації.

Головним в процесі конструювання є забезпечення несучої здібності деталі, тобто зберігати міцність при додатку робочого навантаження.

Залежно від профілю поперечного перетину деталь при одній і тій же несучій здатності може мати велику або меншу масу.

Найбільшою жорсткістю і моментом опору вигину володіє двотавровий і швелерний перетини.

Маса рівномірності кругів, квадратів, прямокутників в 2,5..3 рази більша.

Принцип раціоналізації конструкцій деталей машин, що працюють в умовах подовжнього і поперечного вигинів, полягає у виборі такого профілю, при якому забезпечується задана несуча здатність і мінімальна маса деталі.

Зниження маси за рахунок раціоналізації форми поперечного перетину доцільно до певної межі. Наступає момент, коли зниження маси приводить до такого ускладнення конфігурації профілю поперечного перетину деталі, при якому доводиться переходити на менш економічний спосіб виготовлення. В цьому випадку приріст витрат на виготовлення починає перевищувати економію від зниження маси деталі.

Шляхи зниження навантажень в деталях і вузлах металургійного устаткування

Дія підвищених навантажень на деталі і вузли є однією з основних причин передчасного виходу з ладу металургійного обладнання. Тому найнадійніший і відносно простий шлях підвищення експлуатаційної надійності і продовження термінів служби деталей – зниження навантажень.

Вдосконалення в динамічному відношенні схем стало ефективним у зв'язку з математичним моделюванням і застосуванням ЕОМ. Складають спрощену розрахункову схему і т.д., потім її прораховують при вірогідних обуреннях і вносять необхідні корективи.

Розглянемо стисло шляхи зниження навантажень. Динамічні навантаження можна понизити:

1. Зменшенням зовнішнього обурення;
 2. Вдосконаленням схеми машини в динамічному відношенні і зменшенням внутрішніх обурень;
 3. Застосуванням спеціальних антивібраційних властивостей.
- Зовнішні сили зменшують, перш за все, застосуванням: двигунів з оптимальними пусковими характеристиками; безперервних і рівномірних робочих процесів.

Плавний пуск машини забезпечується двигунами постійного струму. У могутніх асинхронних двигунах з короткозамкнутим ротором можна швидкість при пуску можливо знижувати перемиканням схеми трансформатора із зірки на трикутник, підключенням автотрансформатора і пускового реостата.

Вельми довершеним пристроєм плавного пуску машин є фрикційні муфти, що дозволяють регулювати силу стиснення фрикційних дисків, а, отже, передавати момент по будь-якому закону.

Внутрішні обурення від роботи окремих механізмів зменшують підвищенням точності виготовлення і балансуванням, оптимальним взаємним розташуванням ланцюгових зірочок, застосуванням підшипників з великим числом тіл кочення і ін.

До пристроїв для зниження коливань і динамічних навантажень відносяться: маховики, інерційні маси, пружні коливання, пружно демпферні елементи, демпфери, запобіжні пристрої.

Маховик, що є акумулятором кінетичної енергії, підвищує рівномірність обертання і зменшує динамічні навантаження в машині. Ефективність маховика підвищується при розташуванні його на швидкохідному валу і поблизу джерела збудження.

При різних ударних навантаженнях особливо ефективно введення інерційних мас, наприклад, застосування масивних фундаментів.

Пружні муфти різко знижують динамічні дії в машині.

Пружні елементи в машинах виконують функцію демпфування коливань. енергія розсівається внутрішнім або зовнішнім тертям. У першому випадку для пружного елемента застосовують матеріали з малим модулем пружності і великим внутрішнім тертям, тобто гуму або пластичні маси типу еластикових. Гума з підвищеним демпфуванням має логарифмічний декремент 0,9—1,2.

У другому випадку пружний елемент виконують багатошаровим з великим тертям між шарами: пластинчасті ресори, вживані в транспортних машинах, розсіюють багато енергії.

Широке застосування пружні і пружнодемперні елементи знайшли в буферах, в системах підресорювання транспортних машин, в системах активної і пасивної виброізоляції стандартного обладнання.

Демпфери коливань - це пристрої, розсіюючі енергію коливань. Розсіювання енергії може здійснюватися внутрішнім, зовнішнім сухим і в'язким тертям, а також електромагнітним

демпфуванням. У демпферах створюється сила тертя, направлена протилежно швидкості шкідливих коливань і викликаюча розсіяння енергії коливань. Демпфери встановлюють між тілом, що коливається, і корпусною деталлю або сейсмічно нерухомою масою в місцях максимальних амплітуд і можливо ближче до джерел обурення.

Класичним прикладом демпфера сухого тертя є демпфер для крутильних коливань. Демпфер складається з диска, насадженого на вал, що коливається, і маховика, що складається з двох половин і притягається до диска пружинами. При коливаннях валу маховик не встигає слідувати за валом, і на поверхні контакту виникають періодичні сили тертя, демпфуючі коливання. Існує оптимальна сила затягування демпфера. За відсутності затягування сили тертя дуже малі. При надлишку великої сили затягування маховик коливається разом з валом, і сили розсіювання енергії коливань в демпфері пропадають.

Демпфери сил тертя застосовують також при поперечних коливаннях, наприклад, у вигляді однієї або декількох циліндрових мас, що вставляються із зазором в отвір і що стискаються регульованою пружиною між фрикційними дисками, встановленими без зазора.

Успішно застосовують демпфери сухого тертя у вигляді пакету з тарілчастих пружин, які в результаті ковзання по конічних поверхнях контакту розсіюють значну енергію.

У демпферах в'язкого тертя звичайно використовують сили опору рідини при протіканні її через вузькі щілини або отвори. Для демпфування поступально переміщуваних деталей використовують демпфер поршневого типа Поршень, пов'язаний з деталлю, що коливається, примушує рідину перетікати з однієї порожнини в іншу. Щоб зменшити вплив зміни температур, на роботу демпфера, застосовують силіконові рідини.

Динамічний гаситель коливань є масою m , приєднаною до системи M , що коливається, за допомогою пружного елемента, маятникового підвісу. У гасителях без демпфування, застосованих при постійній частоті збудження, власна частота гасителя повинна бути рівна або близька до частоти збудливої сили. Тоді гаситель одержує резонанси, які врівноважують силу збудження. Маса гасителя може складати невелику частку від основної маси.

Основне розповсюдження має динамічний гаситель з демпфуванням, який ефективний в значно більшому діапазоні частот. Застосовується динамічний гаситель з пружними елементами з матеріалів з високим демпфуванням і масляними демпфуючими пристроями.

Є динамічні гасителі з настройкою по частоті, які за допомогою спеціальних пристроїв автоматично регулюються. Широко застосовуються гасителі ударної дії, ефект яких заснований на розсіянні енергії при ударах.

Як віброізолюючих опор найбільш зручні так звані рівночастотні опори з пружною нелінійною характеристикою, що забезпечують майже однакову частоту власних коливань машин різних мас (у певних межах). Нелінійність характеристики забезпечується тим, що вільне стиснення пружного гумового елемента поступово перетворюється на обмежене стиснення.

Виготовляють гаму рівночастотних гумометалевих опор на частоти 15, 20 і 35 Гц.

Активна віброізоляція – ізоляція обладнання, що є джерелом збудження, від передачі його на фундамент.

Пасивна віброізоляція – захист обладнання які передаються через фундамент.

АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУЮВАННЯ

Цілі створення і призначення САПР

В кінці 50-х років в Массачусетському технологічному інституті (США) вперше зародилося поняття CAD. У 70-і роки воно розповсюдилося як міжнародне позначення конструкторських робіт із застосуванням обчислювальної техніки. При цьому під CAD мається на увазі обробка даних засобами комп'ютерної графіки.

Абревіатура CAD інтерпретується Computer Aided Design (проектування конструкцій за допомогою ЕОМ). У колишньому СРСР це поняття ототожнюється з поняттям автоматизованого проекту САПР. Розвиток САПР, що проходить відносно рівномірно, здійснюється постійним вдосконаленням наступних характеристик:

- розвиненості програмного забезпечення;
- швидкодії, якості графічних матеріалів, що виводяться;
- ергономіки;
- коефіцієнта витрат (відношення ціни і продуктивності).

Системи автоматизованого проектування призначені для виконання проектних операцій (процедур) в автоматизованому режимі. САПР створюються в проектних, конструкторських, технологічних і інших організаціях і на підприємствах, з метою: підвищення якості і техніко-економічного рівня продукції, що випускається; підвищення ефективності об'єктів проектування, зменшення витрат на їх створення і експлуатацію; скорочення термінів, зменшення трудомісткості проектування і підвищення якості проектної документації.

Досягнення вказаної мети створення САПР можливо за умов:

- систематизації і вдосконаленні процесів проектування на основі застосування математичних методів і засобів обчислювальної техніки;
- комплексної автоматизації проектних робіт в проектній організації з необхідною перебудовою її структури і кадрового складу;
- підвищення якості управління проектуванням;
- застосування ефективних математичних моделей проєктованих об'єктів, комплектуючих виробів і матеріалів.

Загальна характеристика САПР

САПР є людино-машинним комплексом взаємозв'язаних програмних і технічних засобів, які об'єднані в єдиний технологічний процес проектування, що починається з вибору і обґрунтування елементарної бази проєктованого виробу і закінчується створенням технічної документації на його виготовлення.

Використання єдиної інформаційної моделі об'єкту на всіх етапах процесу проектування складає головний принцип побудови САПР. При цьому відмінною рисою технології проектування з допомогою САПР є активне застосування процедур математичного моделювання, що складає суть другого принципу – принципу ухвалення проектних рішень на основі математичного експерименту з моделлю проєктованого об'єкту.

З призначених для користувача позицій САПР є складною апаратно-програмною системою, здібною до розширення за рахунок приєднання до неї нових методів і процедур рішення задач проектування в конкретній проблемній області, а також шляхом агрегатування нових проблемних областей.

З позиції системного підходу проблеми автоматизації проектування можна умовно розділити на функціональні і інструментальні. До функціональних відносяться проблеми пошуку алгоритмів рішення окремих задач проектування і логічної ув'язки цих завдань в єдиний технологічний цикл проектування, тобто методичного (математичного і лінгвістичного) забезпечення САПР.

Інструментальні – проблеми створення інформаційного, програмного і технічного забезпечення САПР. Автоматизація проектування складних систем заснована на комплексному підході до дослідження, розробки і впровадження апаратних і програмних засобів, призначених для вирішення двох головних проблем: бездефектного проектування виробів і скорочення термінів їх розробки.

Теорія САПР включає наступні основні розділи:

- формалізація об'єкту, цілей і критеріїв проектування і системи, що проектує;
- алгоритмізація завдань проектування;

– технологія реалізації САПР.

САПР, і особливо інтегровані САПР, є складними об'єктами. Їх створення вимагає великих матеріальних і високо кваліфікованих людських ресурсів. Тому важливо при створенні САПР витримувати наступні принципи: включення, системної єдності, розвитку, комплектності, інформаційної єдності, сумісності, інваріантності.

Принцип *включення* передбачає узгодження параметрів і можливостей конкретної САПР з складнішою САПР.

Принцип *системної єдності* забезпечується взаємними зв'язками всіх підсистем САПР.

Принцип *розвитку* передбачає нарощування і вдосконалення компонентів САПР і зв'язків між ними.

Принцип *комплектності* забезпечує зв'язаність проектування окремих елементів і всього об'єкту в цілому на всіх стадіях проектування.

Принцип *інформаційної єдності* вимагає використання в підсистемах САПР встановлених відповідними нормативними документами мов програм, способів представлення інформації, термінів, символів.

Принцип *сумісності* забезпечує сумісне функціонування всіх підсистем САПР.

Принцип *інваріантності* вимагає, щоб всі підсистеми і компоненти САПР були по можливості універсальними або типовими, тобто інваріантними до проєктованих об'єктів.

Основним методом проектування є *блоково-ієрархічний* метод, тобто метод декомпозиції складного об'єкту на підсистеми (блоки, вузли, деталі).

САПР повинна задовольняти основним вимогам:

1. Мати універсальну структуру, розроблену за блоково-ієрархічним принципом;

2. Мати інваріантну частину, в яку можна включити засоби організації діалогу і введення-виводу графічної інформації, систему управління базами даних, бібліотеки стандартних програм;

3. Створюватися як людино-машинна система, що розвивається. Повинна мати засоби генерації трансляторів з нових мов, опису класів об'єктів проектування і процесу проектування, засобу автоматизованого сполучення нових прикладних програм, а також модифікації тих, що існують і опис нових баз даних;

4. Забезпечувати весь цикл проектування складного пристрою;

5. Передбачати адаптацію до змін технологічних процесів виробництва виробів;

6. Володіти універсальністю, що знімає ручну підготовку даних при переході від одного етапу проектування до іншого;

7. Здійснювати проектування в реальному масштабі часу (режим "ОН-ЛАЙН");

8. Базуватися на деякому типовому комплекті технічних засобів проектування.

Структура і принципи побудови

Система автоматизованого проектування – це сукупність засобів і методів для здійснення автоматизованого проектування. Вона складається з декількох складових частин, званих технічним, математичним, програмним, лінгвістичним, інформаційним, методичним і організаційним забезпеченнями.

Технічне забезпечення включає технічні засоби (ЕОМ, периферійне обладнання), за допомогою яких розв'язуються завдання проектування.

Математичне забезпечення – представляється математичними моделями, методами і алгоритмами для вирішення проектних завдань.

Програмне забезпечення – це сукупність програм для реалізації автоматизованого проектування. Програмне забезпечення може бути спеціальним і загальним.

Спеціальне програмне забезпечення включає пакети прикладних програм (ППП), призначених для вирішення конкретних проектних завдань. Загальне програмне забезпечення призначене для управління обчислювальним процесом в САПР і підготовки програм з ППП до виконання на ЕОМ. У загальне програмне забезпечення входять операційні системи ЕОМ, що функціонують в САПР, а також програми що не входять до складу операційних систем, але що виконують схожі функції (управління завданнями, даними, редагування, трансляція і т.п.) в конкретній САПР.

Лінгвістичне забезпечення виражається сукупністю мовних засобів, використовуваних в САПР. У лінгвістичне забезпечення входять загальновідомі алгоритмічні мови, використовувані для запису програм САПР, і вхідні мови, що служать для опису об'єктів проектування і завдань на виконання проектних

процедур. Вхідні мови представляють для користувача САПР найбільший інтерес, визначаючи зручність спілкування інженера з ЕОМ в процесі проектування.

Інформаційне забезпечення – сукупність відомостей, необхідних для виконання проектування. Основну частину інформаційного забезпечення складає база даних – інформаційні масиви, використовувані в більш ніж одній програмі проектування. Іноді до бази даних відносять масиви даних тільки довідкового характеру, а також масиви результатів виконання етапів проектування, використовуваних на інших етапах як початкові дані. Такі бази даних в деяких системах називають *архівами*. База даних в процесі проектування повинна поповнюватися, в ній можливі коректування вмісту, стирання застарілих і непотрібних відомостей і т.п. повинен бути забезпечен також захист даних від неправильних змін. Доступ до вмісту бази даних потрібно забезпечити тільки певному колу осіб. Всі перераховані функції по роботі з базою даних забезпечуються *системою управління базою даних (СУБД)*. База даних разом з СУБД називається *банком даних*.

Методичне і організаційне забезпечення є сукупністю документів, що встановлюють склад і правила функціонування засобів САПР і підрозділів проектного підприємства.

Підсистеми САПР. Спеціалізація деякої частини САПР на обслуговуванні проектних завдань одного етапу проектування приводить до виділення цієї частини як *підсистеми САПР*. Така спеціалізація зачіпає програмне, математичне і лінгвістичне забезпечення і іноді торкається технічного забезпечення.

Як правило, в САПР ЕОМ є підсистеми функціонально-логічного проектування і конструкторського проектування. У деяких САПР ЕОМ є також підсистема структурного (системного) проектування і окрема підсистема виготовлення конструкторської документації.

Для кожної підсистеми звичайно розробляється своя вхідна мова і пакет прикладних програм; часто в підсистемах є автономні бази даних. Відмінності технічних засобів в підсистемах пов'язані з складом пристроїв автоматизованих робочих місць проектувальника.

Принципи побудови САПР. Сучасні САПР створюються відповідно до наступних принципів.

Колектив розробників є складовою частиною системи проектування, виконуючи проектні роботи у взаємодії з ЕОМ. Разом з процедурами, що виконуються в автоматичному режимі роботи з ЕОМ, є процедури, частково або повністю не формалізуємі і тому виконувані при визначальній участі людини. Про автоматичне проектування можна говорити лише відносно окремих нескладних операцій.

Комплексна автоматизація всіх рівнів проектування. Введення автоматизованого проектування на декількох рівнях при збереженні старих ручних форм проектування на інших рівнях менш ефективно, чим комплексна (крізна) автоматизація на всіх рівнях. Комплексна автоматизація дозволяє внести такі зміни в структуру проектних підприємств, форми документів, які відповідають цілям автоматизації – скороченню матеріальних тимчасових витрат, підвищенню якості проектування, збереженню чисельності інженерно-технічних працівників на колишньому рівні, не дивлячись на ускладнення проектуваних об'єктів.

Інформаційна узгодженість підсистем і програм проектування. Програми, що входять в пакет прикладних програм деякої підсистеми САПР, повинні бути інформаційно узгодженими, тобто що допускають можливість сумісного виконання при реалізації заданої проектною процедури без втручання людини в процес сполучення програм. Інформаційна узгодженість програм має місце за наступних умов: програми створені для роботи з однією і тією ж базою даних і не вимагають ручної перекомпоновки числових масивів, що є вхідними для однієї і вихідними для іншої з програм, що сполучаються; завдання початкової інформації про об'єкт або про необхідні проектні операції проводиться на єдиній вхідній мові. Звичайно до складу одного пакету об'єднуються тільки узгоджені програми. Звичайно, при цьому забезпечується сполучення не будь-яких двох програм пакету, а тільки тих, які утворюють послідовності, корисні для проектування. Для комплексної автоматизації всіх рівнів потрібна інформаційна узгодженість як програм усередині підсистем, так і самих підсистем між собою. Ця узгодженість також забезпечується єдністю елементів інформаційного і лінгвістичного забезпечень, що мають відношення до обох підсистем, що сполучаються.

Відкритість САПР. Властивість відкритості системи означає можливість внесення змін в систему під час її експлуатації. Зміни можуть полягати в додаванні нових або заміні старих елементів в програмному, а, можливо, також в технічному і лінгвістичному забезпеченнях. Внесення змін повинно бути максимально спрощено і доступне користувачам САПР. Відкрита САПР є системою, що розвивається, оскільки більш довершені методи, програми, технічні засоби у міру їх появи можуть бути реалізовані в ній; вона також легко адаптується до умов проектування, що змінюються. Отже, властивість відкритості приводить до збільшення терміну служби системи, підвищує її універсальність.

Сумісність традиційного і автоматизованого проектування. Цей принцип має значення у випадках, коли автоматизоване проектування упроваджується вже на діючому підприємстві із структурою, що склалася, взаємовідношеннями підрозділів, формами і способами використання проектною документації. Саме в цих умовах доцільний еволюційний шлях впровадження САПР, при якому зміни, що диктуються особливостями автоматизованого проектування, не порушуватимуть на тривалий термін нормального функціонування підприємства.

Режими проектування в САПР

По характеру і ступені участі людини і використання ЕОМ при виконанні деякого маршруту розрізняють декілька режимів проектування.

Автоматичний режим має місце при виконанні маршруту проектування по формальних алгоритмах на ЕОМ без втручання людини в хід рішення.

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

Автоматизоване проектування є частково автоматизованим, якщо частина проектних процедур в маршруті виконується людиною уручну, а частина з використанням ЕОМ.

Діалоговий (інтерактивний) режим є більш довершеним режимом, при ньому всі процедури в маршруті виконуються за допомогою ЕОМ, а участь людини виявляється в оперативній оцінці результатів проектних процедур або операцій, у виборі продовжень або коректуванні ходу проектування. Якщо ініціатором діалогу є людина, якій надана можливість у будь-який момент часу переривати автоматичні обчислення на ЕОМ, то діалог називається *активним*. Якщо переривання обчислень відбуваються по командах виконуваної на ЕОМ програми у визначені, наперед передбачені моменти, тобто проектувальник не може виступати як ініціатор діалогу, то такий діалог називається *пасивним*.

Частота звернень до людини в процесі діалогу залежить від того, в які моменти можливі переривання. Якщо в маршруті переважають проектні процедури, для яких досягнутий високий ступінь формалізації і розроблені достатньо ефективні алгоритми, то переривання передбачаються між проектними процедурами. Людина дістає можливість оцінити синтезоване проектне рішення і вибрати те або інше продовження проектування. Якщо повна формалізація процедури не досягнута або неефективна, то доцільний діалог з перериваннями обчислень усередині процедури. Такий всередині процедурний діалоговий режим характерний для багатьох процедур конструкторського проектування в машинобудуванні.

У багатьох випадках користувач САПР в режимі діалогу тільки вводить і редагує початкові дані для виконання певного маршруту.

Автоматизовані робочі місця проектувальника

Традиційна форма використання ЕОМ, сконцентрованих в обчислювальному центрі і працюючих в пакетному режимі, не годиться для САПР. ЕОМ лише тоді стане регулярно використовуваним інструментом проектування, коли інженер зможе оперативно звертатися до машини і також оперативно одержувати результати рішення. Тому в комплексі технічних засобів (ТЗ) повинна бути розвинена група зовнішніх пристроїв введення – виведення інформації. При цьому ефективна взаємодія інженера з ЕОМ буде забезпечена тільки в тому випадку, якщо форма інформації, що вводиться і виводиться, зручна для людини; і не приводить до необхідності уручну виконувати обтяжливі і чреваті помилками операції по кодуванню або розшифровці повідомлень. Залежно від характеру вирішуваних задач зручними формами представлення інформації можуть бути таблиці, креслення, графіки, текстові повідомлення і т.п.

Таким чином, вимоги до технічних засобів САПР обумовлює включення в комплекс ТЗ як стандартного комплексу зовнішніх пристроїв ЕОМ, так і додаткових пристроїв введення-виводу інформації, зокрема в графічній формі. Цей комплект зовнішніх пристроїв встановлюється в приміщенні проектного підрозділу і називається автоматизованим робочим місцем (АРМ) проектувальника.

Склад АРМ залежить від характеру завдань, що вирішуються в проектному підрозділі. Так, для інженерів, зайнятих функціонально-логічним проектуванням, і інженерів-конструкторів оптимальний склад зовнішніх пристроїв неоднаковий. Дійсно, конструктори в істотно більшій мірі зв'язані з обробкою інформації у вигляді креслень, для них важливо наявність розвинених засобів машинної графіки.

В даний час розроблено декілька типів АРМ, що серійно випускаються, для різних галузей промисловості.

Наявність в одній САПР багатьох АРМ, можливості одночасної роботи на апаратурі АРМ декількох користувачів розміщення АРМ на територіях проектних підрозділів, достатньо віддалених один від одного, диктує необхідність ієрархічної побудови комплексу ТЗ з виділенням в ньому, принаймні, двох рівнів ЕОМ. На вищому рівні знаходиться одна або декілька ЕОМ великої продуктивності. Ці ЕОМ складають *центральный обчислювальний комплекс* (ЦК), призначений для вирішення складних завдань проектування, що вимагають великих витрат машинних часу і пам'яті. Наявність високо продуктивних ЕОМ у складі ЦК забезпечує виконання другого з перерахованих на початку глави вимог до технічних засобів САПР. На

нижчому рівні знаходяться вхідні в АРМ МІНІ-ЕОМ (термінальні ЕОМ). МІНІ-ЕОМ в АРМ управляє роботою комплексу зовнішніх пристроїв, обміном інформацією між АРМ і ЦК; вирішує порівняно нескладні за витратами машинного часу і пам'яті проектні завдання.

Витоки геометричного моделювання

Як вже наголошувалося, теоретичні основи САПР сформувалися в 60-х — початку 70-х років минулого сторіччя. У ідеології покладені різноманітні математичні моделі абстрактного виробу. Об'єкти розглядаються з погляду різних спеціальностей, застосовуються різні методи отримання параметрів: геометричні, технологічні, теплові, аеродинамічні, ергономічні і т.п. Саме різноманітність моделей привела згодом до класифікації CAD/CAM/CAE... і до глибшої спеціалізації усередині кожного розділу. Специфікатор CAD (Computer Aided Design) визначає область геометричного моделювання. Важливість геометричної моделі важко переоцінити, оскільки будь-які предмети описуються в першу чергу геометричними параметрами.

Можливо, в майбутньому з'являться технології виготовлення предметів, що не вимагають попереднього точного геометричного опису створюваного об'єкту, але сьогодні можна сміливо стверджувати, що виробництво неможливе без однозначного представлення геометрії виробу.

Першою основою для опису предметів можна вважати Евклідову геометрію, що допускає однозначне представлення матеріальних об'єктів на площині. Евклідова побудова припускає певний набір інструментів (лінійка, циркуль) і безліч допустимих операцій, які можна виконати з їх допомогою. Подальший розвиток ідей Евклідових побудов сформував методи накреслювальної геометрії і проєкційного креслення.

Введення систем координат Декартом дозволило з'єднати геометрію з аналітичною математикою. Так, відкрилася можливість одержувати нові геометричні об'єкти шляхом рішення рівнянь, алгебри.

Плоске моделювання

Традиційний спосіб плоского геометричного моделювання полягав в застосуванні лінійки, циркуля і транспортира на креслярській дошці. На конструкторській мові це називається пров'язкою, коли відома інформація, що знов з'являється, наноситься на кальку або пергамент. Для підвищення точності, побудови витримують в максимально можливому масштабі. При цьому погрішність побудов складає не менше 1 мм, а при завданні кутовими значеннями — не менше 1 мм на одному метрі. Такі межі точності при геометричному моделюванні на кульмані. Але саме цей спосіб забезпечив технічну революцію на рубежі XIX-XX століть.

Поява ЕОМ стала сприятливою передумовою для розвитку машинної графіки, яка включила дисципліни геометричного моделювання і обчислювальної геометрії. Основне їх завдання полягає в рішенні геометричних задач в аналітичній і обчислювальній (алгоритмічній) формі.

Паралельно з векторним описом геометричної інформації розвивалися і дискретні (BitMap) представлення об'єктів, спочатку призначені для візуалізації на піксельних масках.

До початку 80-х математичний апарат плоского геометричного моделювання був вже достатньо добре сформований для того, щоб забезпечити бурхливий розвиток плоских САД-систем. З появою персональних комп'ютерів впровадження «електронних кульманів» прийняло масовий характер. AutoCAD із США, Dragon з Англії, Cherry CAD з Росії — за цими першими ластівками послідував цілий потік плоских «рисувалок», які досить жваво працювали на PC I8086 і I80286, забезпечуючи при цьому точність геометрії до 0,001 мм в метрових діапазонах, оскільки базувалися на 16-бітій математичі. Поява ж 32-розрядних процесорів, а тим більше перших Pentium з лишком забезпечило потреби плоских САД-систем. Інженери відразу ж оцінили такі переваги, як автоматизація побудови геометричних елементів, копіювання фрагментів, простота редагування геометричної і текстової інформації, автоматичне штрихування і нанесення розмірів, точність і якість документації, компактність зберігання і ін. Більш того, впровадження комп'ютерного креслення практично не вимагало зміни традиційного підходу до проектування, що спочатку було сприйнято як найважливіша перевага плоских систем в порівнянні з системами об'ємного моделювання.

Відзначимо два підходи до плоского моделювання, які одержали розвиток в САД-системах. Перший умовно можна назвати креслярським, другий — твердотільним.

У креслярському способі (яскравий представник AutoCAD) основними інструментами є відрізки, дуги, полілінії і криві. Базовими операціями моделювання на їх основі є продовження, обрізання і з'єднання.

У твердотільному способі (Cherry CAD) основними інструментами є замкнуті контури; решта елементів грає допоміжну або оформлювальну роль. При цьому головними операціями є булеві об'єднання, доповнення, перетин. Сучасні системи, як правило, експлуатують ці способи одночасно.

При всіх своїх неоцінних достоїнствах плоске уявлення, а найголовніше — система креслярських розмірів однозначні лише до певного рівня складності конфігурації виробу. З розвитком суднобудування, автомобільної і авіаційної промисловості було введено поняття неаналітичних кривих — сплайнів. Сплайни неможливо точно описати системою лінійних, кутових і дугових розмірів. Навіть

компактніший спосіб опису — табличний — застосовний лише до контрольних точок кривої, але ніяк не до повного і однозначного опису. У докомп'ютерну епоху необхідність роботи з неаналітичними кривими і поверхнями привела до виникнення плазово-шаблонного методу підготовки виробництва, де основою є майстер-модель. Моделі, як правило, виготовляли з матеріалів, що мають мінімальні коефіцієнти температурного розширення і велику зносостійкість. На додаток до креслень плази і шаблони були єдиним і однозначним представленням частини геометрії виробу на всьому етапі проектування-виробництва. Тиражування технології виготовлення на інші підприємства також супроводжувалося копіюванням і передачею плазов і шаблонів.

Слід зазначити, що заміна об'ємного завдання на сімейство плоских довгий час залишалася єдиним способом рішення і у багатьох випадках приводить до прийнятних результатів і сьогодні.

Об'ємне моделювання

Ідеологія систем об'ємного моделювання базується на об'ємній майстер-моделі. Тут йдеться вже не просто про фрагментарно точну модель поверхні, яку забезпечує плазово-шаблонний метод для ексклюзивних перетинів, але і про кожен точку поверхні.

Однозначність моделі в порівнянні з кресленням несе в собі заставу безпомилкової взаємодії всіх учасників процесу проектування і підготовки виробництва. Крім того, обмін даними на базі цієї моделі дозволяє уникнути повторного введення інформації, яким так страждають традиційні виробництва, нехай навіть і оснащені «електронними кульманами».

Отже, об'ємна модель, на відміну від креслярського і плазово-шаблонного методу, покликана однозначно визначати геометрію всієї спроектованої поверхні. А не означає це, що і конструктор повинен докласти незрівняно великі зусилля для її створення?

Очевидно, що робота в просторі вимагає декілька інших навиків, ніж традиційне креслення, але це зовсім не означає, що для отримання поверхні потрібно розрахувати і вивести в комп'ютер координати кожної її точки. Якби це було так, то сама ідея об'ємного моделювання виявилася б неріальною.

Системи об'ємного моделювання базуються на методах побудови поверхонь на основі плоских і неплоских профілів. У загальному випадку профіль — це об'єкт, що описується відрізками, дугами і кривими. Для конструктора профілі — це перетини, види, осеві лінії. Іншими словами, сучасні методи проектування поверхонь дозволяють будувати об'єкти, ґрунтуючись на мінімальній кількості початкових даних. Наприклад, одним з найбільш поширених методів, яким можна описати широкий клас об'єктів, є рух профілю тієї уподовж направляючої.

Математичний апарат об'ємного моделювання сьогодні знаходиться приблизно на тій же стадії розвитку, що і плоский на початку 80-х. Тобто наукова база достатня для створення ефективних інструментів інженера. Та і масові технічні засоби сьогодні досягли рівня, необхідного для підтримки тривимірної математики. Як і у разі плоских CAD-систем, об'ємне моделювання розвивалося в двох напрямках. Перше — поверхневе моделювання, друге — твердотільне.

У поверхневому моделюванні (яскравий представник — Cimatron) основними інструментами є поверхні, а базовими операціями моделювання на їх основі — продовження, обрізання і з'єднання. Таким чином, конструктору пропонується описати виріб сімейством поверхонь.

При твердотільному способі (наприклад, SolidWorks) основними інструментами є тіла, обмежені поверхнями, а головними операціями — булеві об'єднання, доповнення, перетин. В цьому випадку конструктор повинен представити виріб сімейством простих (куля, тор, циліндр, піраміда і т.п.) і складніших тіл. Кожен з цих методів має свої достоїнства і недоліки. Поверхневе моделювання популярно в першу чергу в інструментальному виробництві, а твердотільне — в машинобудуванні.

Сучасні системи, як правило, містять і той і інший інструментарій. Наприклад, CAD/CAM ADEM дозволяє працювати як з тілами, так і з окремими поверхнями, використовуючи булеві і поверхневі процедури.

З моделі може бути одержана не тільки інформація про координати будь-якої точки на поверхні, але і інші локальні характеристики (нормалі, кривизни і т.д.) і інтегральні характеристики (об'єм, площа поверхні, моменти інерції і т.д.). На її основі завжди можна одержати плоскі моделі: види, перетини і розрізи, не вдаючись до послуг розробника або плазового відділу.

На відміну від креслення модель є однозначним представленням геометрії і кількісного складу об'єкту. Якщо в складальному кресленні болт представляється декількома видами, то в об'ємній збірці — одним об'єктом, моделлю болта.

Поява методів математичного моделювання породила природне бажання мати якомога більш загальні моделі. Це торкається і завдань геометричного опису виробів.

Дійсно, якщо ми будемо модель, наприклад, поршневого двигуна, то чом би не розповсюдити її на весь ряд можливих моторів даного класу? Адже структура їх однакова: циліндр, поршень, шатун, коленвал і ін.

Більш того, є методики розрахунків деталей двигуна за такими початковими даними, як потужність, число оборотів. Давайте побудуємо модель, де всі вхідні деталі зв'язані параметрами. А далі все дуже просто.

Змінили параметри — одержали модель нового двигуна. Май узагальнену модель виробу, і не потрібне ніяких конструкторських бюро!

Ідея створення узагальненої параметричної моделі виробу не нова, та і подібних спроб було немало, і подекуди навіть були успішні рішення.

В першу чергу узагальнені моделі виходять там, де є методики чисельного розрахунку всіх геометричних параметрів виробу.

Проте не все можна розрахувати, частина параметрів виходить в результаті геометричних побудов. Введемо асоціативні геометричні зв'язки. Наприклад, довжина валу дорівнює довжині черв'яка плюс місця під підшипники, плюс зазори, плюс контррентня.

Багато сучасних систем дозволяють вводити зв'язки між геометричними параметрами. Зв'язки можуть бути задані умовно (паралельність, перпендикулярність, касательність і т.п.), розмірами, функціонально, таблично. Обмеження на довжину ланцюга зв'язків, як правило, не накладаються. Важливіше інше — зв'язок повинен бути однозначним.

Що ж одержує користувач, встановивши відповідні зв'язки в моделі? Із статичної конструкції виходить багатоланковий механізм з безліччю мір свободи. Пам'ятає довідник Артобольовського і ця безліч типів базових механізмів? А тут зв'язки можуть бути і поскладніше: дискретними, диференціальними.

Чим складніший механізм, тим більше вірогідність його відмови! Тим більше часу йде на його відладку, навіть при всіх сучасних досягненнях параметризації! Саме тому параметричні моделі застосовуються в основному для каталогів стандартних виробів і в лінійному дереві історії створення моделі для її подальшого редагування.

Але повернемося до нашого валу з черв'яком. Геометрична асоціація тут проста — складання. І ось при збільшенні довжини черв'яка подовжився і вал. Все чітко, якщо не мати на увазі міцнісні аспекти. А з умов міцності тепер потрібно збільшити діаметр валу, а отже, і габарити підшипника. Підшипник інший — треба знову подовжити вал. Тобто наш простий зв'язок вже зовсім не простий!

Конструктор, створюючи виріб, враховує безліч критеріїв: міцність, жорсткість, стійкість, технологічність, ремонтпридатність і т.д. Складність формалізації подібних зв'язків сильно обмежує можливість створення узагальнених моделей.

Розробникам параметричних моделей слід пам'ятати неписаний інженерний закон — повної спадкоємності в конструкції не буває. Одне тільки це свідчить про неможливість заміни роботи конструктора узагальненою моделлю. А тим, хто зайнявся створенням такої, необхідно встигнути завершити цей процес до морального застарівання модельованого об'єкту.

Асоціативність згадують також і у зв'язку з іншим завданням. Якщо ми одержуємо креслення по об'ємній моделі, то чом би не організувати зміну моделі по зміненому кресленню? Як принадно простий цей спосіб редагування моделі! Більш того, він цілком природний з погляду конструктора, адже виправлення в документації зрештою приводять до зміни реального виробу. Те ж саме повинне відбуватися і з моделлю.

Чудеса зміни моделі при редагуванні її креслення часто демонструються на презентаціях різних CAD-систем. Як же це робиться?

Зовсім нескладно встановити зв'язок між параметром моделі і його проекцією на площину. Наприклад, указуючи на проекцію розмірної лінії в кресленні, визначати відповідний розмір на моделі. Якщо цей розмір параметричний, то створюється повне враження, що, змінюючи креслення, ми міняємо модель.

Іншими словами, редагувати за допомогою креслення можна тільки те, що можливо відредагувати на самій моделі, і не більше. Тобто даний механізм нічого принципово нового, розширюючого можливості редагування об'ємної моделі в собі не несе.

Пригадаємо у зв'язку з цим, що реальне креслення — це, як правило, не просто проекції, види і перетини, які можна одержати з моделі. Креслярські стандарти не тільки допускають, але і наказують умовності. Так, наприклад, неприпустимо зображення лінійних розмірів з міжстрілочною відстанню менше 1 мм; у перетині тонкої оболонки товщина стінок також повинна бути зображена умовно і т.п. Більш того, креслення містить багато додаткової інформації, не пов'язаної безпосередньо з моделлю.

Як у разі узагальненої параметричної моделі, так і в асоціативному зв'язку «модель — креслення — модель» багато підводних каменів, які здатні перетворити переваги методу на серйозні недоліки.

Тепер декілька слів про зборку виробів. Об'ємні моделі чудово працюють в цій області на макрорівні. Практично всі питання компоновки можуть бути вирішені з їх допомогою.

Але не так просто застосувати об'ємне моделювання до рішення задачі зборки виробу з урахуванням допусків. Так, звичайно, можна вести моделювання по середині або межах полів допусків, що дозволить вирішити деякі приватні завдання. Проте загального способу автоматизації стохастичного об'ємного моделювання поки не існує.

Область найвищого ефекту застосування САПР

Багато підприємств, що пройшли перший етап автоматизації, із здивуванням помічають, що прискорення креслення за рахунок комп'ютеризації не приносить скільки-небудь помітного скорочення

термінів випуску виробу. Та і збільшена якість креслень і ефектні картинки об'ємних зборок мало впливають на якість вироблюваних виробів.

Нерідко за цим слідують висновки про неефективність систем автоматизованого проектування для вирішення головних виробничих завдань. При цьому САПР потрапляє під визначення красивих іграшок, здатних лише привернути молодь на підприємство, і не більше того. Цінність програмного забезпечення в очах керівників падає до рівня 20 грн. за неліцензійний диск.

У чому ж причина таких невеселих висновків і ще сумніших наслідків? Чи не є ці висновки поспішними і чи не ґрунтуються вони на неправильному уявленні про цілі автоматизації? А чи не трапилося так, що за тріском рекламних статей і гонитвою за дешевизною відбулася підміна головного завдання на простоту і доступність, але іншу?

Розглянемо приклад, коли в основу процесу проектування-виробництва закладено не просто комп'ютерне креслення, а геометричне моделювання. Будучи стрижнем, майстер-модель пронизує всі етапи підготовки. При цьому не відбувається втрат даних, відбувається лише їх поповнення і уточнення.

При даній побудові проектування починають ефективно функціонувати крізні процеси, що спираються на геометрію. В першу чергу це підготовка обробки різанням, яка складає основу сучасного виробництва. Навіть ті види виробництв, які безпосередньо не займаються подібною обробкою, як правило, використовують оснащення і інструмент, виготовлені даним способом.

Ми вже відзначали збільшену складність геометрії сучасних виробів. Виготовлення їх без геометричної моделі практично неможливо. Спробуйте уручну відфрезерувати дві однакові прес-форми автомобільного крила або бампера. Або запрограмувати їх обробку на стійці верстата з ЧПУ — адже це десятки тисяч кадрів!

Найвища ефективність від впровадження геометричного моделювання досягається тоді, коли система включає не тільки конструкторське, але і технологічне моделювання.

Таким чином, тепер нас цікавить не стільки специфікатор CAD, скільки інтегровані CAD/CAM-системи, що дозволяють не просто створювати моделі, але і програмувати верстати ЧПУ. Аббревіатура CAM означає автоматизацію рішення геометричних задач технології. В основному це розрахунок траєкторії руху ріжучого інструменту.

Від траєкторії руху інструменту залежить не тільки одержувана форма деталі, але і якість її поверхні, час обробки, знос інструменту і обладнання і ще багато що інше, що має свою вартість.

Застосування інтегрованих систем для конструкторсько-технологічної підготовки виробництва показало свою дійсну ефективність у всіх сучасних виробництвах. Реальна ціна, яку готові платити за CAD/CAM сьогодні, сопоставима з ціною верстата і лежить в межах 10-100 тис. дол. за одне робоче місце користувача, які йдуть в основному на наукові дослідження і розробку нових продуктів.

Коли йдеться про сучасних інтегрованих CAD/CAM-системах слід знати, що витрати на їх розробку складають 400-2000 человеко-років, і розробники, як правило, фахівці високої кваліфікації.

Інтегровані CAD/CAM — це максимально наукоємкі продукти, що постійно розвиваються і включають новітні знання у області моделювання і обробки. Придбання подібних систем рівнозначно придбання нової технології. Вони вимагають серйозного підходу при впровадженні і приносять відчутний економічний ефект. Дуже часто без них просто неможливо проводити сучасні вироботи.

Слід врахувати, що далеко не все, що називається сьогодні CAD/CAM-системами, є такими. Під цим поняттям часто ховаються спроби видати бажане за дійсне.

Підвищення попиту на інтегровані технології примушує багато фірм в терміновому порядку розробляти САМ-ЧАСТИНУ до своїх «рисувалок» або моделювальникам. Але суть в тому, що створення технологічних модулів вимагає в першу чергу великого виробничого досвіду і не може бути вирішено з наскоку. Загалом, академічний підхід до створення САМ-ЧАСТИНИ не працює, які б сучасні методи і засоби програмування не застосовувалися.

Помилки системи при кресленні у гіршому разі коштуватимуть рулон папери і флакон туші для плоттера. Помилки ж CAD/CAM-системи обходяться значно дорожче, оскільки чреваті зламаним обладнанням і інструментом, зіпсованими деталями і відчутною втратою засобів.

Дуже часто можна зустріти комерційний альянс конструкторської і технологічної систем, інтегрованих лише на рівні сумісних продажів. Чи можлива заміна інтегрованого CAD/CAM на комбінацію конструкторської і технологічної системи?

Практика показує, що CAD для інтегрованої системи значне відрізняється від чисто конструкторського програмного продукту. Окрім конструкторських завдань він повинен відповідати специфіці, необхідній для модифікації геометричної моделі з урахуванням технології виготовлення. А це досить складний апарат геометричного моделювання.

Отже, ми відзначили деякі сильні і проблемні сторони геометричного моделювання.

Майстер-модель виробу однозначно описує його геометрію і представляє могутній інструмент для вирішення конструкторських і технологічних завдань. Для того, щоб одержати максимальний ефект від геометричного моделювання, слід застосовувати інтегровані CAD/CAM-технології.

Що ж до витрат на першому етапі автоматизації, то вони напевно зіграли свою позитивну роль хоч би для того, щоб підійти до наступного етапу, коли геометричне моделювання стає економічно дуже вигідним.

Математичне ядро САПР

Математичне ядро — це набір функцій, виконання яких забезпечує побудову тривимірних моделей. Ядро не самоцінно, воно створюється для використання в прикладних програмах. Доступ до функцій ядра кінцевому користувачу відкриває САД-система (як правило, через графічний призначений для користувача інтерфейс). Крім того, ядро іноді називають «движком» системи геометричного моделювання. Подібно тому, як двигун автомобіля визначає «стелю» його швидкості, математичне ядро визначає межу функціональних можливостей САПР, що його використовує. При використанні безліччю продуктів одного і того ж ядра в межі всі вони мають однакові можливості і обмеження, а розрізняються тільки інтерфейсом. У цих умовах поява конкуруючого ядра вносить «свіжий струмінь», що запобігає своєрідному «застою» на ринку.

Сьогодні в світі існує декілька десятків порівняно відомих математичних ядер. Крім трійки визнаних лідерів-«важковаговиків» (Parasolid від EDS, ACIS від Spatial Corp і Open CASCADE від Matra Datavision) успішно розвиваються і менш відомі або молодші геометричні ядра, наприклад такі, як Thinkdesign kernel (Thinks, Inc.), VX Overdrive (Varimetrix Corp), КОМПАС-3D kernel (АТ АСКОН, Росія).

З одного боку, потужність математичного ядра, використовуваного САПР, визначає потенціал системи, з іншою — сам факт використання системою відомого ядра зовсім не гарантує її якості. Іноді доводиться стикатися з такою ситуацією: виробник оголошує, що його САПР базується, наприклад, на ядрі Parasolid (що відповідає дійсності), і на цій підставі ставить її в один ряд з широко відомими могутніми системами. А на перевірку виявляється, що в даному продукті не «відкриті» для користувача багато базових функцій.

Політика ліцензування ядер ACIS і Parasolid орієнтована на виробників і споживачів ПО в країнах з розвинутою економікою і не сприяє їх широкому розповсюдженню в наших економічних умовах (зрозуміло, йдеться про легальне використання САПР на базі цих ядер).

При використанні купувального ядра його вартість «закладається» в ціну продукту. Навіть за написання модулів імпорту-експорту у формати купувальних ядер потрібно платити чималі гроші.

Ядро власної розробки гнучкіше і керовано, зміни вносяться в нього настільки оперативно, наскільки це потрібно самому розробнику САПР. При використанні власного ядра частка його вартості в ціні готового продукту, як правило, мінімальна. Вона не залежить від змін ліцензійної політики стороннього розробника.

Parasolid спочатку створювався як ядро САПР, це ядро «обкатувалося» і «шліфувалося» на величезній кількості робочих місць на конкретних завданнях. Ядро ACIS створювалося як якась загальна математична модель — воно дуже універсальне, вирішує безліч загальних завдань. Компанія АСКОН розробила власне ядро КОМПАС.

АСКОН вже успішно вирішив значну частину цього завдання.

Якщо принципово поставити мету реалізувати той же набір функцій, що і Parasolid, то її можна досягти в короткі терміни. Проте набагато більшу проблему складає не власне кількість функцій, а надійність їх роботи, «відщлифованість» ядра. А цього неможливо добитися тільки зусиллями тестерів компанії-виробника. Доказом конкурентоздатного функціонала і високої надійності ядра може бути виключно його успішне практичне застосування в САПР на реальних робочих місцях.

Але навіть якщо закрити в математичному ядрі 90% функціонала Parasolid і на базі цього ядра побудувати продукт, що закриває 80-90% завдань клієнта — це теж хороше досягнення. Адже є ще і такий параметр, як ціна продукту, і якщо вона в 2 рази нижче, а завдання переважної частини клієнтів успішно розв'язуються, система займатиме величезну нішу на ринку. Адже є завдання різної складності, для них були, є і будуть рішення різної вагової категорії. А з часом дистанція між ними скорочуватиметься.

Треба розуміти, що при виборі ліцензійного ПО (як і при покупці будь-якого фірмового товару) вирішальним чинником є співвідношення «ціна/якість».

Є безліч прикладів, коли підприємство купує декілька робочих місць САПР «важкого» класу (Unigraphics) для виконання найбільш складних завдань моделювання і десятки ліцензій на систему КОМПАС-3D для вирішення 80-90% завдань, що залишилися, на робочих місцях всіх конструкторів. І така зв'язка завжди працює успішно. А ось випадки, коли всі робочі місця на підприємстві оснащені виключно Unigraphics і в цій системі проектуються всі вироби, аж до втулок і манжет, невідомі.

Метод кінцевих елементів для просторових конструкцій

Завдання об'ємного моделювання і просторового конструювання, що описуються рівняннями в приватних похідних, ефективно розв'язуються за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ), діапазон застосування якого надзвичайно широкий: машинобудування і будівельна справа, гідро - і аеродинаміка, гірська справа і нова техніка, завдання стійкості і розповсюдження, моделювання і математична фізика.

За допомогою методу кінцевих елементів розв'язуються завдання прогнозування статичної, динамічної і температурної поведінки машин і механізмів; оцінки напруг і деформацій балок і стрижневих систем, пластин і оболонок; розробки на міцність конструкцій сучасних суден і літальних апаратів.

Не дивлячись на ряд модифікацій методу кінцевих елементів, відомих як методи Рітца, Галеркіна, найменших квадратів і колакацій, суть цього методу зводиться до наступного. Область визначення початкових рівнянь в приватних похідних, покривається деяким кінцевим числом не пересічних один з одним елементів і шукається дискретна апроксимація рішення рівнянь у вигляді лінійної комбінації $\sum a_i j_i$

деяких базисних функцій $j_i(x)$. Останні пов'язані з окремими введеними елементами і можуть бути шматково-поліноміальними, раціональними і ін. Параметри цих базисних функцій підбираються так, щоб забезпечити необхідний ступінь безперервності функцій, що описують сусідні елементи. Апроксимація рішення по всій області визначення рівнянь може бути виражена через значення базисних функцій і їх похідних у вузлових точках, при цьому кожна функція j_i рівна нулю на більшій частині області визначення і відмінна від нуля тільки в околиці одного вузла. У загальному вигляді апроксимуюча рішення функція має вигляд :

$$U(x) = \sum_{i=1}^N \left[a_i(x) j_i + b_i(x) \left(\frac{\partial U}{\partial x_1} \right) + g_i(x) \left(\frac{\partial U}{\partial x_2} \right)_i + \dots \right],$$

де N — число вузлів мережі елементів, що покривають область визначення функції.

У більшості практичних модифікацій методу кінцевого елемента функція спрощується до вигляду:

$$U(x) = \sum_{i=1}^N a_i(x) j_i$$

ПРИКЛАДИ ДІЮЧИХ САПР В РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ ПРОМИСЛОВОСТІ

Система КОМПАС-ГРАФІК

Система КОМПАС-ГРАФІК призначена для автоматизації проектно-конструкторських робіт в різних галузях діяльності. Вона успішно використовується в машинобудуванні, архітектурі, будівництві, складанні планів і схем - скрізь, де необхідно розробляти і випускати графічні і текстові документи.

Графічні документи

Графічний редактор дозволяє розробляти і випускати різні документи - ескізи, креслення, схеми, плакати і т.д. У системі передбачені два види графічних документів - креслення і фрагменти.

Креслення володіє рамкою і основним написом, в ньому можна створювати до 255 видів (проекцій, розрізів, перетинів), що мають різний масштаб зображення. На листі креслення можуть бути розміщені специфікація, технічні вимоги, знак невказаної шорсткості. Фрагмент містить зображення у натуральну величину без елементів оформлення (рамки, технічних вимог і т.п.).

Будь-який вид креслення або фрагмент може містити до 255 шарів, кожний з яких можна робити поточним, або недоступним для редагування, або невидимим.

КОМПАС-ГРАФІК дозволяє працювати зі всіма типами графічних примітивів, необхідними для виконання будь-якої побудови. До них відносяться крапки, прямі, відрізки, кола, еліпси, дуги кіл і еліпсів, багатокутники, ламані лінії, криві NURBS (зокрема криві Безьє) Різноманітні способи і режими побудови цих примітивів (наприклад, команди створення фасок, скруглень, еквидистант, побудови відрізків і кіл, дотичних до об'єктів і т.п.) позбавляють користувача від необхідності проводити складні допоміжні побудови. Для

прискорення побудов можна використовувати локальні системи координат, різномасштабну сітку і механізм об'єктних прив'язок.

Однієї з найсильніших сторін КОМПАС-ГРАФІК як і раніше є повна підтримка ЕСКД. Підтримуються стандартні (відповідні ЕСКД) і призначені для користувача стилі ліній і штрихувань. Реалізовані всі типи лінійних, кутових, радіальних і діаметральних розмірів (включаючи похилі розміри, розміри висоти і розміри дуги). Автоматично виконуються простановка допусків і підбір квалитета по заданих граничних відхиленнях. Серед об'єктів оформлення - всі типи шорсткостей, ліній-винесень, позначення баз, допусків форми і розташування поверхонь, лінії розрізу і перетину, стрілки напряму погляду, штрихування, тексти, таблиці.

У графічний документ КОМПАС-ГРАФІК може бути вставлено растрове зображення формату BMP, PCX, DCX, JPEG, TIFF. При вставці растрового об'єкту можливо завдання його масштабу і кута повороту.

КОМПАС-ГРАФІК забезпечує користувача всіма інструментами, необхідними для редагування креслення. Виконуються операції зрушення, копіювання, повороту, масштабування, симетричного відображення, деформації, видалення, вирівнювання. Підтримується перенесення і копіювання об'єктів через буфер обміну. Перетягання мишею характерних точок будь-яких (як векторних, так і растрових) об'єктів дозволяє швидко міняти їх розмір і положення.

Можливо створення макроелементів і іменованих груп об'єктів. При формуванні і зміні креслення можна використовувати посилання на пов'язані з ним зовнішні фрагменти, які можуть зберігатися як в окремих файлах, так і в спеціальних бібліотеках фрагментів.

Будь-якому графічному об'єкту можна поставити у відповідність неграфічну інформацію, звану атрибутом. Атрибутом може бути число, рядок, запис або таблиця; об'єкт може мати будь-яку кількість атрибутів. Атрибути об'єкту можуть бути проглянуті і відредаговані у будь-який момент роботи над документом; вони також використовуються для пошуку графічних об'єктів.

Система містить великий набір команд для вимірювання довжин, відстаней, кутів в графічному документі і обчислення масо - центровочних характеристик плоских фігур, тіл витискування і обертання.

Режим реалістичного заповнення граф основного напису і тексту технічних вимог полегшує оформлення документа. У комплект постачання КОМПАС-ГРАФІК входить бібліотека стандартних основних написів графічних документів; можливо створення призначених для користувача основних написів.

У графічному редакторі КОМПАС-ГРАФІК можуть створюватися параметричні моделі. Відмінність параметричної моделі від звичайної полягає в тому, що в ній існують взаємозв'язки між об'єктами. Прикладами взаємозв'язків можуть служити паралельність, перпендикулярність, симетрія, рівність радіусів, торкання об'єктів, збіг їх характерних крапок і т.п.

Взаємозв'язки формуються як при введенні об'єктів (автоматично), так і шляхом виклику спеціальних команд. Автоматичне формування зв'язків може бути заборонено, будь-який існуючий зв'язок може бути видалений.

Можливо також створення асоціативних об'єктів оформлення (розмірів, штрихувань, позначень шорсткості і т.д.). Асоціативні об'єкти «відстежують» зміну положення своїх базових примітивів і автоматично перебудовуються відповідно до нього.

Параметрам графічних об'єктів (наприклад, довжинам, кутам, радіусам) можуть бути поставлені у відповідність буквені змінні. Можливо завдання аналітичних залежностей (рівнянь і нерівностей) між цими змінними, і, отже, між параметрами об'єктів.

В результаті редагування будь-якого параметричного об'єкту решта об'єктів перебудовується так, щоб задані користувачем взаємозв'язки не порушувалися. Завдяки цій властивості параметричної моделі вона ідеально підходить для створення однотипних зображень, елементів, що розрізняються параметрами.

Текстовий редактор КОМПАС-ГРАФІК дозволяє випускати різні текстові документи - записки, розрахункові пояснення, технічні умови, інструкції і т.д. Текстовий документ є окремим типом документа КОМПАС-ГРАФІК.

При роботі з текстовим документом доступні всі основні можливості, що є стандартом де-факто для сучасних текстових редакторів: робота з растровими і векторними шрифтами Windows (зокрема у форматі UNICODE), вибір параметрів шрифту (розмір, нахил, зображення, колір і т.д.), вибір параметрів абзацу (відступи, міжрядковий інтервал, вирівнювання і т.д.), введення спеціальних знаків і символів, надрядкових і підрядкових символів, індексів, дробів, вставка малюнків (графічних файлів КОМПАС), автоматична нумерація списків (зокрема з різними рівнями вкладеності) і сторінок, пошук і заміна тексту, формування таблиць. Можливо створення стилів тексту і стилів оформлення текстового документа і швидке форматування документа з використанням цих стилів. Фрагменти тексту, що часто зустрічаються, можуть бути збережені для подальшого швидкого введення. Передбачена можливість автоматичної заміни помилково введених латинських символів на кириличні, і навпаки.

Всі функції текстового редактора КОМПАС-ГРАФІК доступні не тільки при створенні окремих текстових документів, але і при введенні будь-якого тексту в графічному документі (при створенні технічних вимог, таблиць, технологічних позначень - всіх графічних об'єктів, що містять текст).

Специфікації

Модуль проектування специфікацій КОМПАС-ГРАФІК дозволяє випускати різноманітні специфікації, відомості і інші табличні документи. Специфікація є окремим типом документа КОМПАС-ГРАФІК.

Багато функціональних можливостей модуля розробки специфікацій КОМПАС-ГРАФІК запозичені з логіки і технології розробки «паперових» специфікацій.

При заповненні документа на екрані користувач бачить стандартну таблицю специфікації і може вводити дані в її граfi.

У конструкторській практиці специфікація, що складається на виріб, завжди відповідає складальному кресленню цього виробу. Специфікація КОМПАС-ГРАФІК також може бути пов'язаний з складальним кресленням (одним або декількома його листами) і іншими електронними документами. Цей зв'язок є двонаправленим і асоціативним.

Знаходячись у вікні специфікації, можна швидко відкрити підключені до неї креслення, і навпаки, при роботі з кресленням можна викликати підключену до нього специфікацію.

Можлива передача даних з креслення в специфікацію або із специфікації в креслення, причому передача асоціативна. Із специфікації в креслення передаються номери позицій компонентів збірки (стандартних виробів, деталей і т.д.). З складального креслення в специфікацію передаються номери зон, в яких розташовано зображення відповідних компонентів збірки. З креслень деталей і складальних одиниць в специфікацію передаються найменування, позначення, маса, матеріал виробу, формат його креслення і інші дані.

Якщо в складальне креслення вставлені зображення стандартних елементів з конструкторської бібліотеки КОМПАС-ГРАФІК, то інформація про них передається в специфікацію.

Специфікація може містити відомості, доповнюючі інформацію, що включається в стандартний бланк. Ці відомості зберігаються в так званих «додаткових колонках», вони можуть бути проглянуті або відредаговані у будь-який момент, проте в бланку специфікації вони не видні і на друк не виводяться. Прикладом інформації в додаткових колонках можуть служити маса і вартість об'єкту. Сервісні команди дозволяють скласти числові значення додаткових параметрів, при цьому може враховуватися кількість однакових об'єктів в збірці і навіть кількість об'єктів в її різних виконаннях (у такий спосіб можна підрахувати масу або вартість виробу, що специфікується). У додаткові колонки вводять і будь-яку іншу інформацію про об'єкт (код ОКУД, матеріал, текстовий коментар і т.д.); їх кількість і склад визначаються потребами користувача.

Рядки специфікації можуть бути пов'язані з графічними об'єктами в складальному кресленні. За наявності таких зв'язків в специфікації можна включити режим, в якому система автоматично виділяє в кресленні геометрію, що відноситься до виділеного рядка специфікації.

Специфікацію можна набудувати так, щоб при видаленні її рядка відбувалося і автоматичне видалення відповідної геометрії з складального креслення.

Якщо у момент створення специфікації робочі креслення деталей і вузлів ще не готові, то графічні об'єкти, підключені до рядка специфікації, можна передати в новий графічний документ, одержавши таким чином заготовку креслення. У його основний напис будуть автоматично передані позначення і найменування, привласнені виробу в специфікації.

Модуль проектування специфікацій КОМПАС-ГРАФІК підтримує заповнення розділів і передбачене стандартом сортування рядків усередині них. Чудовою особливістю специфікації КОМПАС-ГРАФІК є можливість створювати і заповнювати розділи в довільній послідовності. Користувач може спочатку ввести стандартні вироби, потім створити і заповнити розділ «Документація» перейти до введення деталей, а потім складальних одиниць. Система автоматично розташує розділи, що вийшли, в стандартній послідовності; кожен новий розділ розміщуватиметься в строго визначеному по відношенню до існуючих розділів місці, «розсовуючи» при необхідності вже заповнені рядки.

Часто стандарт наказує групувати об'єкти в розділі по видах, а усередині цих груп сортувати по найменуванню або позначенню. І цей механізм підтримує специфікація КОМПАС-ГРАФІК: при введенні нового об'єкту можна вказати не тільки розділ, але і підрозділ для його розміщення.

Рядки специфікації можна заповнювати в довільному порядку, вибираючи розділи і підрозділи, до яких вони відносяться. Специфікація автоматично розташовує рядки в наказаній стандартом послідовності (наприклад, деталі сортуються за збільшенням їх буквено-числового позначення).

Користувач може самостійно вибрати колонку, по якій повинне проводитися сортування, і вказати одне з правил сортування - за збільшенням числового значення, по убуттву числового значення, за абеткою, змішану (і за абеткою, і по значенню числа у порядку проходження символів тексту) і для розділу документації (при такому типі сортування коди документів розташовуються не за абеткою, а в порядку, наказаному ГОСТ). Можливо також формування складніших правил сортування (наприклад - спочатку по номеру стандарту, потім - по назві виробу, потім по його типоразмеру). Такі правила використовуються, наприклад, при сортуванні розділу «Стандартні вироби».

Після редагування позначення деталі, документа або іншого рядка специфікації цей рядок міняє своє положення в специфікації відповідно до правил сортування. Після будь-

якої зміни порядку рядків в специфікації порушується нумерація позицій. Це порушення можна усунути автоматично: команда простановки позицій привласнює рядкам специфікації номери у порядку їх проходження, враховуючи при цьому наявність резервних рядків в розділах.

Обмін інформацією з іншими системами

КОМПАС-ГРАФІК включає різні конвертори для обміну даними з іншими системами:

- читання графічних файлів форматів DXF, DWG і IGES
- читання текстових файлів форматів ASCII (DOS), ANSI (Windows) і RTF
- читання файлів тривимірних моделей форматів IGES і SAT
- читання файлів документів КОМПАС-ГРАФІК попередніх серій.

Конвертори для експорту даних є окремо оплачуваними компонентами системи. Використовуючи їх, можна виконати:

- запис графічних файлів форматів DXF і IGES
- запис файлів тривимірних моделей форматів IGES, SAT і STL
- запис даних специфікації у форматі DBF і Microsoft Excel.

Засоби розробки додатків КОМПАС-МАЙСТЕР

КОМПАС-ГРАФІК є відкритою системою, що дозволяє створювати додаткові програмні модулі (призначені для користувача бібліотеки), а потім застосовувати їх під час роботи над документами. Таким чином, стандартні можливості креслярсько-графічного редактора і редактора деталей можуть бути доповнені виходячи з тих спеціальних завдань, які доводиться вирішувати користувачу. Типовий приклад додатку - бібліотека стандартних машинобудівних елементів.

Засоби розробки додатків - це набір бібліотек (DLL), що динамічно підключаються, які можна використовувати з будь-якої стандартної системи програмування для Windows на мовах C, C++, Паскаль. У бібліотеки включено понад 300 спеціальних функцій для доступу до ядра КОМПАС-ГРАФІК. Функції забезпечують побудову і обробку документів, роботу з геометричною моделлю, організацію інтерфейсу між прикладною бібліотекою і основною системою. Для доступу до даних різних стандартних СУБД можна використовувати інтерфейс ODBC (Open DataBase Connectivity).

Машинобудівна бібліотека

Бібліотека включає більше 200 параметричних зображень різних типових машинобудівних елементів: болтів, гвинтів, гайок, заклепок і іншого кріплення, підшипників, профілів, конструктивних місць, елементів з'єднань трубопроводів, манжет і т.д. Вибір параметрів із стандартного ряду значно спрощує простановку елементу на кресленні і практично виключає помилки конструктора. Надалі внесений в креслення елемент зберігається як єдине ціло, і конструктор може легко відредагувати його, двічі клацнувши мишею на зображенні. При внесенні стандартного елементу в креслення вноситься додаткова інформація, необхідна для подальшої побудови специфікації.

Бібліотека істотно скорочує витрати часу конструктора при розробці складальних і машинобудівних креслень деталей, та забезпечує високу якість документації.

Інтегрована система проектування тіл обертання КОМПАС-SHAFT Plus

Система призначена для параметричного проектування деталей типу «тіла обертання» - валів, втулок, циліндрових і конічних шестерень, черв'ячних коліс і черв'яків, шківів ремінних передач. Забезпечується побудова шліцьових, різьбових і шпон ділянок на ступенях валів. Складність моделей валів не обмежена, кількість ступенів може бути будь-якою.

Параметричні моделі валів зберігаються безпосередньо в кресленні і доступні для подальшого редагування засобами системи КОМПАС-SHAFT Plus. При створенні і редагуванні може бути змінений порядок ступенів валу (методом простого перетягання мишею Drag&Drop), змінений будь-який параметр ступеня, або виконано видалення ступеня. Система включає модуль розрахунків механічних передач КОМПАС-GEARS (геометричні і міцнісні розрахунки циліндрових і конічних зубчатих, ланцюгових, черв'ячних, ремінних передач).

За наслідками розрахунків, крім формування контура ступеня, можуть бути автоматично сформовані таблиці параметрів і виносні елементи з профілями зубів. При зміні розрахункових параметрів передач вони також автоматично коректуються.

Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і розвинена система «Допомоги» забезпечують швидке освоєння системи.

КОМПАС-SHAFT Plus дозволяє в десятки разів збільшити швидкість проектування деталей класу тіл обертання і випуску конструкторської документації на них.

КОМПАС-SPRING

Модуль КОМПАС-SPRING забезпечує виконання проектного або перевірного розрахунків циліндрової гвинтової пружини розтягування або стиснення з одночасним автоматичним формуванням креслення на пружину.

Розрахунок виконується при мінімальній кількості початкових даних і гарантує отримання необхідних конструктору параметрів пружини при її мінімальній масі.

В ході розрахунку конструктор може варіювати різними параметрами пружини для отримання якнайкращого результату.

Як показує практика користувачів, КОМПАС-SPRING дозволяє в 15-20 разів підвищити швидкість проектування гвинтових пружин і випуску документації на них.

Бібліотека елементів гідравлічних і пневматичних схем

Рекомендується для використання при розробці різних технічних схем засобами КОМПАС-ГРАФІК.

У бібліотеку включено велику кількість типових зображень блоків, вентилів, гидрозамков, дроселів, місткостей, клапанів тиску, кондиціонерів, насосів, зворотних клапанів, розподільників, засобів вимірювань, циліндрів і інших стандартизованих елементів.

Бібліотека елементів кінематичних схем

Використовується при побудові креслень різних кінематичних схем. Містить типові зображення кінематичних пар, ланок, гвинтів, гайок, кулачків, маховика, мальтійських і храпових механізмів, передач (зубчатих, ремінних, фрикційних і ланцюгових), підшипників, пружин, штовхачів, шківів і інших елементів.

Довідник конструкційних матеріалів для КОМПАС-ГРАФІК

Цей програмний продукт надає конструктору і технологу наступну інформацію:

- Бази даних - позначення і документи на постачання - по чорних металах, кольорових металах і сплавах, неметалічних матеріалах (більше 200 найменувань)
- Фізико-механічні, технологічні властивості конструкційних матеріалів, їх призначення і області застосування
- Більше 40 видів сортаменту (фасонного, листового, профільного і т.п.), що виготовляється з цих матеріалів, включаючи переліки типорозмірів, що випускаються промисловістю. Бібліотека має широкий набір сервісних функцій, що включає:
 - Пошук матеріалу по декількох критеріях - за призначенням, фізико-механічним властивостям, марці;
 - Додавання нових марок матеріалів, а також редагування тих, що є (можна додавати фізико-механічні властивості для інших станів матеріалу, наприклад, якщо в базі вже є характеристики матеріалу в стані постачання, то користувач може ввести такі параметри для цього матеріалу після термообробки);
 - Формування позначень як безпосередньо матеріалів (включаючи документи на хімічний склад), так і сортаментів відповідно до ЄСКД і російських стандартів; сформований запис позначення може бути вставлений у відповідну графу штампу креслення, в специфікацію, у відомість матеріалів або інші конструкторсько-технологічні документи;
 - Контроль вживаності матеріалів, їх сортаментів і типорозмірів на конкретному підприємстві (установка вживаності виконується адміністратором системи управління виробництвом або службою матеріально-технічного постачання)

Бібліотека інтегрована з системою КОМПАС-ГРАФІК. Параметри і позначення матеріалів і сортаментів можуть бути легко використані в інших проектно-конструкторських системах, таких як Solidworks, в системах управління проектами і документообігом (наприклад, КОМПАС-Менеджер), в системах проектування технологічних проектів (наприклад, АВТОПРОЕКТ)

Електронний довідник по підшипниках кочення

Довідник призначений для інженерно-технічних працівників всіх галузей промисловості. При його розробці використані державні стандарти по підшипниках кочення, а також дані монографій, загальноприйнятих довідників і фірмових (заводських) каталогів. За узгодженням із замовниками в нього можуть бути введені недостатні відомості і дані.

Довідник включає:

- Дані по стандартних підшипниках. Інформація більш ніж по 5000 типоразмерам стандартних підшипників 100 найбільш поширених типовиконаній.
- Характеристики і рекомендації про застосування понад 100 найбільш поширених типовиконаній стандартних підшипників. Ідентифікація російських підшипників по номеру.
- Можливість розрахунку реакцій опор двоопорних валів, навантажених в двох площинах в п'яти перетинах радіальними силами і (або) зосередженими вигинаючими моментами.
- Інформацію по посадках, точності і шорсткості зв'язаних з підшипниками деталей відповідно до ДЕСТ. При призначенні посадок кілець додатково враховується вид вантаження кілець. Передбачене ручне коректування полів допусків посадочних поверхонь валу і корпусу.
- Словник, в який включені більше 500 понять, відомостей з необхідними ілюстраціями, груп даних, списку літератури (близько 200 найменувань), переліку Гостів і відповідних їм стандартів ISO, переліку фірм - виробників підшипників з характеристикою їх продукції, а також основні відомості по ущільненнях і змащувальних матеріалах.

Тривимірне твердотільне моделювання

Система тривимірного твердого моделювання КОМПАС-3D призначена для створення тривимірних параметричних моделей окремих деталей і складальних одиниць, що містять як типові, так і нестандартні унікальні конструктивні елементи. Параметризація дозволяє швидко одержувати моделі типових виробів на основі одного разу спроектованого прототипу.

Ключовою особливістю КОМПАС-3D є використання власного математичного ядра і параметричних технологій, розроблених фахівцями АСКОН.

Область застосування КОМПАС-3D визначається основним набором завдань, які він покликаний вирішувати:

- моделювання виробів з метою створення конструкторської і технологічної документації, необхідної для їх випуску (деталювань, складальних креслень, специфікацій і т.д.)
- моделювання виробів з метою розрахунку їх геометричних і масо - інерційних характеристик
- моделювання виробів для передачі геометрії в розрахункові пакети
- моделювання деталей для передачі геометрії в пакети розробки програм, що управляють, для обладнання з ЧПУ
- створення ізометричних зображень виробів (наприклад, для складання каталогів, створення ілюстрацій до технічної документації і т.д.).

Деталі

Модель деталі є окремим типом документа КОМПАС-ГРАФІК.

Загальноприйнятим порядком моделювання твердого тіла є послідовне виконання булевих операцій (складання і віднімання) над об'ємними примітивами (сферами, призмами, циліндрами, конусами, пірамідами і т.д.).

У КОМПАС-3D об'ємні примітиви утворюються шляхом виконання такого переміщення плоскої фігури в просторі, слід від якого визначає форму примітиву (наприклад, поворот кола навколо осі утворює сферу, а зсув багатокутника - призму).

Плоска фігура, на основі якої утворюється тіло, називається ескізом, а формоутворювальне переміщення ескіза - операцією.

Ескізи

Ескіз зображається на площині стандартними засобами креслярсько-графічного редактора КОМПАС-ГРАФІК. При цьому доступні всі команди побудови і редагування зображення, команди параметризації і сервісні можливості. Єдиним виключенням є неможливість введення деяких технологічних позначень і об'єктів оформлення. Користувач, знайомий з роботою в КОМПАС-ГРАФІК, не знайде принципових відмінностей між порядком створення фрагмента і ескіза.

У ескіз можна перенести зображення з раніше підготовленого в КОМПАС-ГРАФІК креслення або фрагмента. Це дозволяє при створенні тривимірної моделі спиратися на існуючу креслярсько-конструкторську документацію. Ескіз може розташовуватися в одній з ортогональних площин координат, на плоскій грані існуючого тіла або в допоміжній площині, положення якої задане користувачем.

Операції

Проектування деталі починається із створення базового тіла шляхом виконання операції над ескізом (або декількома ескізами).

При цьому доступні наступні типи операцій:

- обертання ескіза навколо осі, лежачої в площині ескіза
- витискування ескіза в напрямі, перпендикулярному площині ескіза
- кінематична операція - переміщення ескіза тієї увподовж вказаної направляючої.
- побудова тіла по декількох перетинах-ескізах.

Кожна операція має додаткові опції, що дозволяють варіювати правила побудови тіла.

- При обертанні ескіза можна задати кут і напрям повороту щодо площини ескіза і вибрати тип тіла - тороид або сфероїд (якщо контур ескіза не замкнутий).
- При витискуванні ескіза можна задати відстань і напрям витискування щодо площини ескіза і при необхідності ввести кут ухилу.
- При виконанні кінематичної операції можна задати орієнтацію тієї відносно направляючої (збереження нормалі, кута нахилу або ортогональності).
- При побудові тіла по перетинах можна вказати, чи потрібно замикає побудоване тіло.
- У всіх операціях можна включати опцію створення тонкостінної оболонки і задати товщину і напрям побудови стінки - всередину, назовні або в обидві сторони від поверхні тіла, утвореного операцією.

Після створення базового тіла проводиться «приклеювання» або «вирізування» додаткових об'ємів. Кожний з них є тілом, утвореним за допомогою перерахованих вище операцій над новими ескізами. При виборі типу операції потрібно відразу вказати, буде створюване тіло відніматися з основного об'єму або додаватися до нього. Прикладами віднімання об'єму з деталі можуть бути різні отвори, проточки, канавки, а прикладами додавання об'єму - бобышки, виступи, ребра.

При введенні параметрів операції «вирізування» або «приклеювання» доступно дещо більше опцій, ніж в базовій (найпершій) операції. Додаткові опції дозволяють спростити завдання параметрів. Наприклад, при створенні крізного отвору можна не розраховувати його довжину, а вибрати опцію «Через всю деталь», а при створенні бобышки вказати, що вона повинна бути побудована до певної поверхні.

Додаткові операції дозволяють спростити завдання параметрів поширених конструктивних елементів - фаски, округлення, циліндрові отвори, ухили, ребра жорсткості. Так, для побудови фаски не потрібно малювати ескіз, переміщати його уздовж ребра і віднімати об'єм, що вийшов, з основного тіла. Досить вказати ребро або декілька ребер або грані для побудови фаски і ввести її параметри - величину катетів або величину катета і кут. Аналогічно при побудові отвору досить вибрати його тип (наприклад, отвір глухий із зенкуванням і цекуванням) і ввести відповідні параметри.

На будь-якому етапі роботи тіло можна перетворити в тонкостінну оболонку (для цього потрібно буде виключити одну або декілька граней, які не повинні входити в оболонку). Порядок роботи з оболонкою, що виникла, буде колишнім - додавання і віднімання тіл, формування фасок, скруглень і отворів.

На будь-якому етапі роботи можна видалити частину тіла по межі, що є площиною або циліндровою поверхнею, утвореною витискуванням довільного ескіза.

Зручний прийом моделювання виробів, які відрізняються лише деякими конструктивними елементами - використання як базове тіло раніше підготовленої моделі (вона називається заготівкою). Подальша робота з таким базовим тілом («приклеювання» і «вирізування» додаткових об'ємів) нічим не відрізняється від роботи з тілом, одержаним шляхом операції над ескізом. При використанні заготівки слід враховувати, що вона не копіюється в модель, а існує в ньому у вигляді посилання на свій файл (заготівку можна порівняти зі вставкою фрагмента посиланням в креслення КОМПАС-ГРАФІК). Після редагування моделі, використовуваної як заготівка іншими моделями, всі зміни передаються у файли, що містять посилання на заготівку.

Дуже часто при побудові тіла потрібно провести декілька однакових операцій. Для повторення операції можна скористатися командою «Копія». У КОМПАС-3D доступні різноманітні способи копіювання: копіювання по сітці, по колу, уподовж кривою, дзеркальне копіювання. Можливо не тільки копіювання операцій «витискування» і «приклеювання», але і «копіювання копіювання».

Для створення деталі, що володіє площиною симетрії, можна скористатися командою «Дзеркально відобразити все», а для отримання деталі, що симетричне існуючій - командою «Дзеркальна деталь».

Допоміжні побудови

Як згадувалося вище, ескіз може бути побудований на площині (зокрема на будь-якій плоскій грані тіла). Для виконання деяких операцій (наприклад, копіювання по колу) потрібна вказівка осі або направляючої. Якщо існуючих в моделі ортогональних площин, граней і ребер недостатньо для побудов, користувач може створити допоміжні площини, осі і просторові криві, задавши їх положення одним з передбачених системою способів. Наприклад, вісь можна провести через дві вершини або через прямолінійне ребро, а площину - через три вершини або через ребро і вершину. Існують і інші способи завдання положення допоміжних елементів. Застосування допоміжних конструктивних елементів значно розширює можливості побудови моделі.

Зборки

Модель збірки є окремим типом документа КОМПАС-ГРАФІК. Збірка складається з окремих деталей і підборок (які, у свою чергу, також можуть складатися з деталей і підборок). Проектування збірки ведеться «зверху-вниз»; кожна нова деталь моделюється на основі вже наявних деталей (обстановки) з використанням параметричних взаємозв'язків. Деталі і підборки можуть створюватися безпосередньо в збірці або вставлятися в неї з існуючого файлу.

Окрім розроблених користувачем (унікальних) моделей, компонентами збірки можуть бути стандартні вироби (кріплення, опори валів і т.д.), бібліотека яких входить в комплект постачання системи.

Взаємне положення компонентів збірки задається шляхом вказівки сполучення між ними. У системі доступні різноманітні типи сполучень: збіг, паралельність або перпендикулярність граней і ребер, розташування об'єктів на відстані або під кутом один до одного, концентричність, торкання. Процес формування збірки як би повторює дії слюсаря-складальника. Кожна деталь послідовними діями "приставляється" до сусідніх деталей і підборок.

Компонент збірки можна вільно переміщати і повертати «мишею», якщо цьому не перешкоджають сполучення, в яких бере участь компонент (наприклад, втулку, концентрично встановлену в отвір, можна обертати навколо осі і переміщати уздовж осі). Компонент можна також зафіксувати в поточному положенні; обертання і переміщення зафіксованого компоненту неможливе. Будь-яке сполучення може бути видалено або відредаговано. Декілька компонентів (деталей і підборок) можуть об'єднуватися в нову підборку.

Виконання формоутворювальних операцій можливо не тільки в моделі деталі, але і в моделі збірки. Прикладом такої «сумісної» операції можуть служити створення отвору в збірці і перетин збірки площиною

Для створення копій компонентів використовуються такі ж операції, як для копіювання формоутворювальних елементів деталі - копіювання по сітці, по колу, уподовж кривої, дзеркальне копіювання.

При роботі з тривимірною моделлю вся послідовність побудови відображається в окремому вікні у вигляді "дерева побудови". У ньому перераховані всі існуючі в моделі допоміжні елементи, ескізи і виконані операції у порядку їх створення. Крім «дерева», що відображає історію створення моделі, КОМПАС-3D запам'ятовує ієрархію її елементів (компонентів). У будь-який момент можливе проглядання ієрархії в спеціальному діалозі. У ньому відображаються всі топологічні відносини між елементами моделі. Наприклад, ескіз, побудований на межі якого-небудь тіла, розташовується в ієрархічній гілці, відповідній цьому тілу.

Існує два аспекти параметризації тривимірної моделі в КОМПАС-3D. По-перше, кожен ескіз може бути параметричним. На його об'єкти можна накласти різні параметричні зв'язки і обмеження (вертикальність і горизонтальність, паралельність і перпендикулярність, вирівнювання, симетрія, торкання). Можливо завдання залежностей між параметрами графічних об'єктів ескіза. Таким чином, в ескізах реалізована та ж варіаційна ідеологія параметризації, що і в графічних документах КОМПАС-ГРАФІК. По-друге, при створенні моделі система запам'ятовує не тільки порядок її формування, але і відносини між елементами (наприклад, приналежність ескіза грані або вказівка ребра як шлях для кінематичної операції). Таким чином, реалізована ієрархічна ідеологія параметризації об'ємних побудов.

Наявність параметричних зв'язків і обмежень в моделі, природно, накладає відбиток на принципи її редагування.

У КОМПАС-3D у будь-який момент можливо зміна параметрів будь-якого елементу (ескіза, операції, сполучення) моделі. Після завдання нових значень параметрів модель перебудовується відповідно до них. При цьому зберігаються всі існуючі в ній зв'язки. Наприклад, користувач змінює глибину операції витискування і її ескіз; в результаті інший ескіз, побудований на торці утвореного цією операцією тіла, все одно залишається на цьому торці (а не «повисає» в просторі на своєму колишньому місці). Слід особливо підкреслити, що після редагування елементу, що займає будь-яке місце в ієрархії побудов, не потрібно наново задавати послідовність побудови підлеглих елементів і їх параметри. Вся ця інформація зберігається в моделі і не руйнується при редагуванні окремих її частин.

Якщо проведено таке редагування моделі, яке робить неможливим існування яких-небудь її елементів з урахуванням параметричних зв'язків КОМПАС-3D видає відповідне діагностичне повідомлення. У ньому вказана конкретна причина конфлікту або втрати зв'язку між елементами моделі. Довідкова система містить рекомендації про можливі шляхи усунення помилки.

Окрім команд, що безпосередньо відносяться до побудови тривимірної моделі, у розпорядженні користувача знаходяться численні сервісні можливості. Їх використання дозволяє управляти відображенням деталі, проводити різноманітні вимірювання, формувати плоскі зображення деталі.

Для зміни відображення деталі можна користуватися командами управління масштабом відображення деталі у вікні, а також командами переміщення (повороту і зрушення) деталі в просторі. Доступно декілька способів відображення деталі: каркас, відображення без невидимих ліній або з тонкими невидимими лініями, півтонове і перспективне півтонове відображення. Для кожної окремої грані або для всієї деталі в цілому можна задавати властивості поверхні (колір, ступінь блиску, прозорості і т.д.). У разі вказівки матеріалу деталі з бібліотеки його оптичні властивості враховуються при півтоновому відображенні моделі.

Можливо вимірювання різних геометричних характеристик: відстаней між вершинами, ребрами і гранями в будь-якій комбінації, вимірювання довжин ребер і периметрів граней, вимірювання площ граней. Проводиться розрахунок масо-центрових характеристик деталі (об'єму, маси, координат центру тяжіння, осьових і відцентрових моментів інерції, напрямку головних осей інерції).

При роботі із збіркою доступна команда виявлення перетинів компонентів.

За допомогою відповідної команди можна створити плоске зображення (своєрідну «заготівку креслення») тривимірної моделі. Доступний вибір будь-якої комбінації проєкцій, масштабу, параметрів розташування видів, способів зображення невидимих ліній і ліній переходу. Одержане зображення розміщується у файлі креслення КОМПАС-ГРАФІК; подальше його оформлення (простановка розмірів і технологічних позначень, заповнення технічних вимог і т.д.) проводиться звичними засобами креслярсько-графічного редактора. Аналогічно створюється «заготівка специфікації» для збірки.

Збірка може відображатися в «розібраному» вигляді (це може потрібно, наприклад, при створенні зображення для каталога). Напрямок і величина зрушення задаються користувачем.

Система твердотільного параметричного моделювання Solid Works(США)

Система розрахована компанією Solid Works Corporation. Це нова система конструювання середнього класу, що базується на параметричному, метричному ядрі ParaSolid, створена спеціально для використання на персональних комп'ютерах під управлінням операційних систем Windows і Windows NT. Solid Works дає кожному конструктору можливість використовувати на своєму робочому місці останні досягнення CAD/CAM-технологій для розробки складних деталей і зборок виробів машинобудування. При цьому проєктування за допомогою Solid Works є для конструктора інтуїтивно простим і зручним, повністю відповідаючи його звичним навикам і методам роботи.

Призначений для користувача інтерфейс

Інтерфейс системи відрізняється максимальною продуманістю, зручністю і доступністю для розуміння. Якщо користувач вже знайомий з яким-небудь додатком Windows, то практично відразу зможе почати працювати в Solid-Works. Відстежування процесу створення моделі спрощується за допомогою спеціального дерева побудов (дерева збірки), що відображає повну структуру моделі. У ньому повністю підтримуються такі загальноприйняті в Windows прийоми роботи, як багатовіконність і можливість одночасної обробки декількох деталей або зборок, настройка користувачем екрану системи, меню і панелей інструментів, використання графічного буфера обміну, технології OLE для обміну об'єктами з іншими додатками, гнучка система «Допомоги», засоби мережевої підтримки (режим клієнт/сервер) і т.д.

Все це робить Solid Works системою з унікальним набором могутніх і у той же час простих для використання засобів твердотільного параметричного моделювання.

Створення ескіза

Процес створення моделі в Solid Works починається з побудови опорного тіла і подальшого додавання або віднімання матеріалу. Для побудови тіла спочатку на площині будується ескіз конструктивного елементу, що згодом перетворюється тим або іншим способом в тверде тіло. Solid-Works надає користувачу повний набір функцій геометричних побудов і операцій редагування.

Створення твердотільної параметричної моделі

Solid Works містить високоефективні засоби твердотільного моделювання, засновані на поступовому додаванні або відніманні базових конструктивних тіл. Ескіз для отримання базового тіла може бути побудований на довільній робочій площині.

Інструменти для отримання базових тіл дозволяють виконати:

- витискування контура з можливістю вказівки кута нахилу створюючої;
- обертання контура навколо осі;
- створення твердого тіла, обмеженого поверхнею переходу між заданими контурами;
- витискування контура уздовж заданої кривої;
- побудова фасок і округлень різного вигляду;
- побудова ухилів;
- отримання розгортки тіл рівномірної товщини.

Основні методи створення твердого тіла поєднують в собі також можливість комбінації всіх перерахованих способів як при додаванні матеріалу, так і при його знятті. Такий порядок роботи дозволяє створювати складні твердотільні моделі, що складаються з сотень конструктивних елементів.

Параметри всіх створених конструктивних елементів доступні для зміни, так що у будь-який момент роботи можна змінити довільний параметр ескіза або базового тіла, а потім виконати повну перебудову моделі.

Окрім створення твердих тіл, в SolidWorks існує можливість побудови різних поверхонь, які можуть бути використані як для допоміжних побудов, так і самостійно.

Могутні засоби візуалізації деталей і зборок дозволяють працювати з ними як в каркасному, так і тонованому уявленні з можливістю динамічного переміщення і обертання на екрані комп'ютера.

Бібліотеки стандартних елементів

SolidWorks надає можливості створення твердотільних моделей стандартних деталей на основі таблиць, що управляють типорозмірами майбутніх елементів бібліотеки, а також засобів організації їх в ієрархічно впорядковану структуру із загальним інтерфейсом.

Створення зборок

Збірка - взаємозв'язаний набір деталей одного виробу або його складової частини. Унікальні засоби SolidWorks дозволяють об'єднувати в одній збірці сотні різнотипних деталей і підборок, будувати необхідні складальні одиниці, не виходячи в режим створення деталей. Взаємне розташування деталей збірки залежить від різних обмежень на розташування цих деталей в просторі. Таким чином, змінюючи положення однієї з деталей, можна відстежувати поведінку інших. За рахунок цього може бути відтворений закон руху вузлів збірки.

Існує можливість контролю взаємопереретинання деталей, що входять в збірку.

Крім того, можна управляти відображенням деталей, що входять в збірку, тимчасово роблячи їх невидимими і збільшуючи наочність одержаного вузла.

Генерація креслень

Після створення твердотільної моделі існує можливість автоматичного отримання робочих креслень деталі або збірки із зображеннями основних видів, проекцій, простановкою основних розмірів і позначень. Для оформлення в повній відповідності з ЄСКД робочі креслення передаються в креслярсько-графічного редактора КОМПАС 3D. Процес побудови креслення спрощується за рахунок автоматичного формування складних розрізів і винесень. У SolidWorks існують і вбудовані засоби оформлення креслення з можливістю відстежування асоціативного зв'язку між моделлю і її кресленням.

Інтерфейс із зовнішніми системами

Отримання твердотільної параметричної моделі - це лише один з етапів на шляху від ухвалення рішення про проектування виробу до випуску готової продукції. Завдяки повністю відкритій архітектурі системи модель твердого тіла, створена в Solid Works, може бути використана для розрахунку прочностних характеристик методом кінцевих елементів або при проектуванні програм, що управляють, обладнанням з ЧПУ практично у всіх відомих розрахункових технологічних системах (ANSYS, NASTRAN, Power-Mill, Гемма і ін.).

Програмні засоби доступу до геометричного ядра Solid Works дозволяють налагодити прямий обмін із зовнішніми додатками, які можуть використовувати всю функціональну потужність ядра. При такій взаємодії можна перемикатися в зовнішній пакет, не виходячи з Solid Works. Крім того, обмін інформацією з іншими додатками можна проводити з використанням стандартних форматів IGES, DXF, DWG, SAT, STL і ін.

SolidWorks відноситься до нового покоління високоефективних систем параметричного твердотільного конструювання. Цей продукт, призначений для найширшого круга користувачів-інженерів, здатний по своїх можливостях конкурувати з дорожчими рішеннями для графічних станцій. Його застосування спільно з креслярсько-графічною системою КОМПАС дозволить значно скоротити час розробки виробів, підвищити їх якість.

Програмні продукти компанії Autodesk, Inc.(США)

Компанією розроблені CAD-системи, твердотільне параметричне проектування, анімація, дизайн. Компанією створений (з метою створення крізної CAD технології) стратегічний альянс, куди входять компанії розробники, що мають статус Autodesk MAI - Partner (Mechanical Application Initiative).

Партнери Autodesk по MAI є промисловими лідерами в таких областях, як розрахунок конструкцій методом кінцевих елементів (МКЕ), проектування оснащення для литва і штампування, програмування верстатів з ЧПУ і т.д.

Мета MAI – забезпечити сумісність першокласних промислових САПР з системою Autodesk Mechanical Desktop.

Для машинобудування розроблена програма Mechanical Desktop, яка має всі можливості AutoCAD і дозволяє виконувати параметричне твердотільне моделювання з наступними функціональними можливостями:

- конструктивні елементи створення параметричних моделей (витискування профілю, його обертання, переміщення по направляючій; перетин об'єктів, завдання ливарних ухилів);
- технологічні елементи: округлення, фаски, отвори (крізні і глухі, різьбові, під головку гвинта);
- створення оболонок;
- округлення змінним радіусом;
- копіювання, масштабування структурних елементів моделі.

Програмний продукт Mechanical Desktop, об'єднуючий в собі засоби конструювання деталей, вузлів і моделювання поверхонь має в даний час зареєстрованих користувачів у всьому світі більше 60 тисяч. Головний напрям Mechanical Desktop - спростити і зробити зручним в роботі середовище параметричного твердотільного моделювання і побудову деталей і зборок для приладобудівних і машинобудівних галузей.

У пакет входять практично всі необхідні інженеру-конструктору засоби моделювання геометричних об'єктів. Він об'єднує в собі можливості новітніх версій відомих програмних продуктів Autodesk. Упроваджений зв'язок з електронними таблицями Excel, що дозволяє зв'язувати розміри на кресленнях з таблицею. Це дозволяє змінювати розміри, не вишукуючи їх на кресленні. Зміни автоматично вносяться в креслення, які перебудовуються, враховуючи покладені залежності.

Програма Mechanical Desktop також дозволяє:

- довільні конструктивні елементи можна моделювати шляхом відсікання фрагментів від твердотільних об'єктів довільними поверхнями;
- параметричні можливості: будь-який розмір може бути змінним, змінні можуть використовуватися в математичних формулах;
- моделювання поверхонь довільної форми, зокрема складних поверхонь довільної форми, трубчастих поверхонь, натягнення вигину, плавне сполучення довільних поверхонь.
- розрахунок мас - інерційних характеристик і аналіз взаємодії деталей в складальних вузлах;
- збірка деталей у вузли;
- знаходження залежностей на компоненти вузлів;
- виконання схем збірки-розбирання, проставлення нумерації позицій на складальних кресленнях і автоматичний випуск специфікацій;
- динамічне 3-х мірне обертання і панорамування тонованої моделі або збірки.

Розрахунок міцності деталей від ANSYS Inc. Design Space.

Додаток до Autodesk Mechanical Desktop - програма аналізу і розрахунку на міцність, оптимізації конструкцій деталей. Дозволяє досліджувати основні характеристики міцності матеріалу, такі як: напруги, деформації і переміщення, що виникають в конструкції під дією сил і моментів. Дозволяє досліджувати основні критерії міцності, щоб визначити запаси міцності в конструкції або визначити вібраційні характеристики. Програма враховує також робочу температуру конструкції, що розраховується.

Перший програмний продукт, призначений для розрахунку по МКЕ одержав міжнародний сертифікат якості.

Застосування Design Space дозволить швидко оцінити будь-яке технічне рішення, понизити вагу конструкції, уникнути непередбачуваних поломок при експлуатації, а в результаті — значно підвищити якість деталі, що розробляється.

Розрахунок кінематики і динаміки механізмів від Design Technologies Inc. Dynamic Designer Motion.

Додаток до Autodesk Mechanical Desktop для розрахунку кінематики і динаміки, інерційно-масових характеристик і розподіл навантажень стрижньових конструкцій і механізмів, що складаються із 3D-об'єктів, дозволяє моделювати поведінку механізмів під впливом зовнішніх навантажень.

Машинобудівні додатки під Auto CAD і Mechanical Desktop— Genius R14

Програмне забезпечення призначене для 2D-конструювання і створення креслень, і припускає об'єктно-орієнтований підхід до проектування.

Genius 14 - це програмний продукт, який об'єднує в собі знання проектувальників і конструкторів, а також практичні методи розрахунку, вживані інженерами-механіками.

Забезпечує:

- об'єктно-орієнтоване проектування, що забезпечує простоту виконання змін (копіювання, редагування, видалення, оновлення) для набору стандартних елементів і частин;
- обширні редаговані бібліотеки стандартних деталей згідно ГОСТ /ISO /DIN /ANSI і ін. (всього 18 стандартів, більше 0,5 млн. деталей);
- три способи графічного представлення стандартних деталей (нормальне, спрощене, умовне);
- генератор валів і втулок, що включає стандартні деталі (підшипники, ущільнення, шпонки, шліци, проточки і ін.);
- автоматичне оброзмірювання в одній або двох вісях з простановкой значень допусків і квалитетов точності (з автоматичним перевизначенням при зміні розміру) з бази даних і ін. функцій оформлення;
- інтегрована система міцностних розрахунків;
- редактор форм для генерування специфікацій і ін. конструкторських

- документів;
- підтримка декількох масштабних коефіцієнтів;
- каталожний і бібліотечний менеджер креслень і графічних блоків.

Genius LT

Система 2-х мірного проектування для випуску машинобудівних креслень і конструкторської документації на основі AutoCAD. Ефективно використовується для оформлення креслень деталей, місцевих видів, розрізів і перетинів, одержаних за допомогою Genius Desktop і Genius 14.

Включає бібліотеки стандартних деталей, засіб розробки параметричних деталей, додаткові можливості побудови і оформлення креслень, робота з кулями.

Genius Vario

Це система параметричного проектування високого рівня для створення бібліотек стандартів підприємств, типових конструкцій деталей і параметричних зборок в декількох проекціях.

Genius TNT

Це рішення задач напівавтоматичного отримання ізометричних видів деталей або ізометричних видів складальних конструкцій або їх частин, створення схем збірки-розбирання, що були рознесені.

Використання як початкові дані декількох плоских проекцій. Бібліотеки готових ізометричних зображень типових елементів. Функції редагування і придушення невидимих ліній в ізометрії.

Genius Motion

Рішення площинних задач кінематики механізмів. Дозволяє проаналізувати поведінку і взаємодію окремих деталей в процесі роботи механізму. Облік інерційно масових характеристик кінематичних ланок механізму. Різні типи кінематичних зв'язків між деталями механізму, включаючи вищі кінематичні пари. Опис циклів роботи механізму, завдання початкових умов.

Додаток навантажень: сил, моментів, пружин, демпферів.

Розрахунок швидкостей, прискорень, траєкторій руху або моментів всіх ланок механізму.

Представлення результатів розрахунку в чисельній і графічній формі (графіки, циклограми і ін.).

Рішення зворотної задачі, наприклад, розрахунок профілю кулачка по характеру руху виконавчої кінематичної ланки механізму.

Genius Profile

Модуль надає можливість використання готових і створення власних бібліотек сталевих балок і профілів. Отримання різних видів і перетинів. Використання параметричних таблиць. Динамічна зміна розмірів профілів. Інформаційні дані про довжину профілів, їх вагу і ін. параметрах.

Genius-Mold

Комплексне рішення для розробки компонувальних видів і креслень прес-форм.

4.5 Pro /Engineer- система наскрізного циклу проектування-виготовлення

Система розроблена компанією Parametric Technology Corporation. (США) Pro / Engineer - це інструмент для створення продукції, який діє аналогічно ходу думок конструктора. При її використанні конструктор створює практично точну віртуальну копію об'єкту. Pro / Engineer базується на так званих «інтелектуальних операціях», які несуть в собі визначальну інформацію про об'єкт, тобто виходить з характерних властивостей конструкції. Зміни в конструкції вмиль відбиваються на всіх етапах проектування. Вся система побудована на єдиній базі даних, що забезпечує повну асоціативність. Робота цілої групи фахівців різного профілю проходить синхронно. «Права» рука завжди знає, що робить «ліва», так що весь процес виробництва координується з максимальною ефективністю і в результаті виходять оптимальні рішення. Таким чином досягається справжнє комплексне проектування - можливість працювати у всіх ланках процесу.

Parametric Technology розробила Pro /Engineer як систему, що не залежне від платформи і підтримує всі найбільш поширені операційні системи: UNIX, Windows NT, Windows.

Pro / Engineer є інтегрованою системою автоматизованого проектування і виготовлення, що надає принципово новий підхід до рішення задач проектування, конструювання, аналізу, розробки технологічного оснащення і механообробки на основі єдиної параметричної об'єктно-орієнтованої технології твердотільного моделювання. Сімейство модулів системи Pro /Engineer містить базовий модуль — ядро продукту і набір спеціалізованих функціональних модулів, призначених для вирішення широкого спектру інженерних завдань всього конструкторсько-технологічного процесу.

Унікальна єдина структура даних забезпечує повну двонаправлену асоціативність для всіх інженерних додатків, тісна взаємодія між учасниками процесу проектування, даючи їм можливість працювати над проектом одночасно і використовувати колективний досвід.

Вперше конструйована модель і процес її виробництва можуть розроблятися одночасно з самого початку, внаслідок чого в найкоротші терміни розробник одержує оптимальний варіант моделі, що розробляється, економить час і засоби.

При роботі з Pro / Engineer які-небудь зміни, вироблені в якій-небудь області конструкторської розробки, автоматично переносяться на всі відповідні ділянки. Такий повний взаємозв'язок і взаємозалежність всіх етапів розробки, від отримання креслення до виготовлення, дає конструкторам можливість міняти конфігурацію деталі буквально «нальоту».

Pro / Engineer написаний так, щоб робота в системі йшла так само як веде її конструктор — процес конструювання починається з визначення основних властивостей і конструкторських критеріїв. Pro / Engineer пропонує користувачу систему каскадних меню, і на екрані постійно присутній рядок підказки і завжди доступний «help».

Конструкторські операції в Pro / Engineer легкі у використанні і володіють могутнім апаратом функцій скруглення (плоских і 3-х мірних) і оболонки для геометрії будь-якої складності. Ці операції несуть і не геометричну інформацію, наприклад об технології виготовлення, а також інформацію про взаємозв'язок між елементами і їх місцеположенням. Це означає, що операції вимагають обов'язкової прив'язки до тієї або іншої системи координат, передбачається, що їм «відома» взаємозалежність і взаєморозташування об'єктів моделі, що значно полегшує внесення змін і забезпечує їх адекватність.

Збірка будь-якого ступеня складності з легкістю виконується в середовищі Pro / Engineer. Достатньо, наприклад, видати команду: «вирівняти», «з'єднати», «вставити вал в отвір» по відношенню до тих або інших компонентів збірки — і це буде здійснено в точній відповідності з намірами конструктора. Крім того компоненти збірки «пам'ятають» про своє розташування щодо один одного. Отже, якщо вносять позиційні або геометричні зміни в якому-небудь компоненті, вся збірка автоматично зазнає відповідні зміни. Деталь може бути створена безпосередньо в збірці, виходячи з обмежень, що задаються сусідніми деталями в збірці.

Дозволяє створювати точну геометрію моделі, проводити перевірку на взаємопроникнення деталей і одержувати у будь-який момент масо-інерційні характеристики об'єкту.

4.6 Система COSMOS Works

COSMOS/Works є системою інженерних розрахунків, створеною спеціально для сумісного використання з системою твердотілого параметричного моделювання Solid Works. Всі розрахунки проводяться на основі методу кінцевих елементів. Система COSMOS/Works розроблена американською компанією Structural Research & Analysis Corporation і поставляється в трьох варіантах конфігурації: базової (Basic), проміжної (Intermediate) і розширеної (Advanced).

Базова конфігурація дозволяє проводити наступні види розрахунків:

- Статичний розрахунок напруг і деформацій;
- Розрахунок подовжнього вигину для визначення критичного навантаження, при якому прямолинійна форма рівноваги центрально-стислого стрижня стає нестійкою;
- Частотний аналіз для визначення власних частот і форм коливань;
- Розрахунок сталих і перехідних теплових процесів.

Проміжна конфігурація на додаток до можливостей базової забезпечує:

- Лінійний динамічний аналіз з використанням результатів частотного аналізу;
- Статичний і динамічний нелінійний структурний аналіз.

Розширена конфігурація в порівнянні з проміжною забезпечує:

- Аналіз втоми;
- Аналіз ламинарного перебігу рідини;
- Оптимізацію форми і конструкції деталі;
- Аналіз низькочастотного електромагнітного випромінювання.

При проведенні розбиття твердого тіла на кінцеві елементи використовуються так звані h-елементи. Точність рішення при використанні h-елементів підвищується за рахунок поліпшення якості сітки МКЕ, що наноситься. Для проведення розрахунків система

дозволяє використовувати як об'ємні типи кінцевих елементів, так і поверхневі, що дуже зручно при аналізі тонкостінних оболонок, Об'ємні елементи є тривимірними тетраєдричними елементами (лінійні і параболічні), що одержуються при нанесенні сітки кінцевих елементів на тверде тіло. Поверхневі кінцеві елементи можуть бути трикутними і квадратичними, а також лінійними і параболічними. COSMOS/Works дозволяє передавати результати обчислень в системи ANSYS і MSC/NASTRAN. Крім того, користувач може зберігати результати розрахунку у форматі VRML, а також створювати AVI - файли на основі анімаційного представлення вантаження деталі.

4.7 Управління проектний - конструкторською документацією

Одного з найважливіших завдань, які доводиться вирішувати при впровадженні систем автоматизованого проектування на підприємствах, є організація спільної роботи користувачів з електронними документами, їх зберігання і захисту від несанкціонованих змін.

КОМПАС-МЕНЕДЖЕР є зручним і прийнятним за ціною засобом організації роботи з єдиною базою електронної документації на виробі, вузли і складальні одиниці в робочих групах або конструкторських підрозділах невеликої і середньої чисельності, а також на локальних робочих місцях.

КОМПАС-МЕНЕДЖЕР можна використовувати як на окремому комп'ютері, так і в локальній мережі, що дозволяє зберігати документи проекту централізовано. Надійність зберігання інформації про структуру виробу забезпечується за рахунок застосування відомої комерційної СУБД Borland Database Engine. КОМПАС-МЕНЕДЖЕР дозволяє розмежувати повноваження користувачів, що працюють над проектом, призначивши ним різні права доступу до документів.

Для зручної роботи з конструкторською документацією підтримуються режими відображення елементів виробу у вигляді «дерева» складальних одиниць, ієрархічного або лінійного списку, списку входимості, а також допоміжний режим відображення «як в специфікації». Для кожного елементу, що входить до складу виробу, можна створювати декілька підлеглих документів. Це дуже зручно у тому випадку, коли потрібно зберігати разом, наприклад, креслення деталі, растрову презентаційну картинку і текстовий документ.

У системі КОМПАС-МЕНЕДЖЕР підтримується зберігання і обробка самих різних типів документів: креслень і фрагментів, растрових файлів, документів MS Office. Для будь-якого елементу виробу можуть зберігатися і редагуватися атрибути з додатковою інформацією (дата останньої зміни, маса деталі і т.п.). КОМПАС-МЕНЕДЖЕР надає конструктору зручні засоби пошуку елементів складу виробу, копіювання і перенесення елементів між різними складальними одиницями, а також безліч інших сервісних функцій, зокрема можливість генерації звіту - специфікації на виріб.

4.8 Системи векторизації і обробки скануючих зображень

Для математичної обробки виконаних уручну креслень в системах САПР необхідно конвертувати креслення у векторний формат. Проте не всякі зміни креслення вимагають його повної векторизації. Наприклад, недоцільно векторизувати все креслення, якщо потрібно додати один новий апарат в існуючу технологічну схему. В цьому випадку вибір небагатий. Можна редагувати креслення по-старому, уручну. Можна перевести його в растровий формат і використовувати традиційних растрових редакторів, але трудовитрати будуть небагато менше, ніж якби креслення виконували на папері.

Програми серії Raster Arts є оптимально збалансованим засобом: вони можуть працювати з гібридними графічними документами, що включають і растрові зображення, і векторні об'єкти.

Програми Raster Arts працюють зі всіма поширеними растровими форматами (TIFF, RLC, PCX, CALS) що має на увазі можливість використання будь-якої моделі сканера. Великі растрові зображення можна компонувати з декількох частин. Максимальний допустимий розмір растрового зображення - 65 тисяч x 10 млн. растрових крапок, що дозволяє обробляти креслення завдовжки до 250 метрів, відскановані з дозволом 1200 dpi.

Використання програм Raster Arts дозволяє компенсувати спотворення растру, викликані низькою якістю початкових матеріалів або що виникли при скануванні. Можна виправити все креслення за допомогою однієї команди замість того, щоб редагувати кожну деталь окремо: вирівняти растрове зображення, видалити растрове «сміття», згладити зазублені лінії, відкалібрувати зображення по сітці, компенсувати нелінійні спотворення растру. Можлива автоматична корекція спотворень, що найбільш часто зустрічаються.

Одне з найбільш революційних досягнень у області растрового редагування - це реалізовані в Raster Arts об'єктні методи вибору растрових даних. За допомогою технології Розпізнавання Растрових Об'єктів растрові дані стають «слухняними», як векторні об'єкти: можна вибрати дугу, круг, відрізок, вказавши тільки одну точку растрового об'єкту, або вибрати растрові дані усередині заданої області без об'єктів, що перетинають її межу. Вибрані растрові дані можна переміщати, масштабувати і повертати на довільні кути. При цьому дякуючи принципово новим підходам до обробки растрових зображень не виникає спотворень, пов'язаних з дискретністю растрових даних.

Всі програми, що входять в серію Raster Arts, підтримують сканування з використанням TWAIN-сканерів, що дозволяє завантажувати в програму зображення безпосередньо з оригіналу.

Завантаживши в програму Spotlight растрове креслення, Ви можете домальовувати необхідні елементи на растровій підкладці, використовуючи власні засоби векторного редагування цієї програми. Можна імпортувати і вставити готовий векторний фрагмент (наприклад, з файлу формату DXF). При цьому решта креслення в растровому форматі залишиться незайманою.

Програми Raster Arts забезпечують простоту перетворення растрових об'єктів у векторні. Програма за частку секунди перетворює растрову подібність кола у векторний об'єкт «коло», яким можна маніпулювати традиційними методами САПР. Програма «розпізнає» векторний об'єкт цілком, навіть якщо він пересічений іншими растровими об'єктами. Можливості програми дозволяють їй сприйняти растровий відрізок і перетинаюче його коло як два векторні об'єкти - «відрізок» і «коло». Це дає можливість інтерактивній конвертації растру у векторний формат в процесі редагування. Редагуючи одержані об'єкти, користувач модифікує растрове креслення і одночасно створює його векторну копію. Часто, відредагувавши зображення кілька разів, користувач одержує готовий векторний малюнок.

Spotlight

Spotlight - це гібридний графічний редактор. Він призначений для редагування, напівавтоматичної і автоматичної (Spotlight Pro) векторизації скануючих графічних матеріалів. Програма є цілісним продуктом, що дозволяє провести повну обробку растрового зображення: від сканування до отримання готового - растрового, векторного або гібридного - креслення. Програма має вбудованого векторного редактора, що володіє широкими можливостями:

- Введення крапок, відрізків, кругів, дуг, поліліній, прямокутників.
- Створення текстів з використанням шрифтів TrueType.
- Створення заштрихованих і залитих областей довільної форми.
- Побудова ієрархії об'єктів - іменовані блоки, векторні шари.
- Режим ортогонального малювання, об'єктної прив'язки.
- Різноманітні засоби вибору об'єктів.
- Видалення, розтягання, перенесення, поворот, склеювання і розбиття об'єктів.
- Використання лінії різних типів: штрихових, штрихпунктирних, відрізків і дуг із стрілками.
- Вибір призначеної для користувача системи координат.
- Засоби перегляду і точної корекції параметрів векторних об'єктів.

Користувач може також виконати зворотне перетворення векторних об'єктів САПР в растр, зване растеризуванням. Двонаправлене перетворення графіки забезпечує раніше недосяжну гнучкість при роботі з графічними документами. Завдяки цьому нова гібридна технологія - потужна, як САПР, і проста, як редагування креслення на папері - стала реальністю. Гібридне зображення можна вивести на плоттер і редагувати без втрат цілісності. Переваги очевидні: можна додавати елементи до креслення, використовуючи векторну технологію, не витрачаючи при цьому часу на векторизацію всього креслення.

Spotlight Pro

Ця об'єднана версія володіє унікальною потужністю - в неї інтегровані всі функції автоматичної векторизації. Фактично це растровий САПР, оскільки Ви зможете з його допомогою виконувати багато креслярських операцій. При цьому для користувача не буде істотним, в якому форматі підготовлені дані - в растровому або векторному.

Можливості автоматичної векторизації в Spotlight Pro повністю відповідають аналогічним можливостям продукту Vectorsy.

Vectorsy

Ця система призначена для перетворення растрових зображень, одержаних в результаті сканування креслень, карт, схем і т.п., у векторну графіку.

Vectorsy дає можливість використовувати графічні матеріали, викреслені на папері, в роботі з комп'ютерними САД-системами, такими як КОМПАС \ AutoCAD. або іншими, що сприймають файли формату DXF. Vectorsy призначена, тільки для автоматичної векторизації і дає якнайкращі результати при

розпізнаванні машинобудівних, будівельних креслень, схем і планів. У програмі - також є різноманітні засоби створення і редагування векторних об'єктів. Векторні малюнки, можна імпортувати в програму і експортувати у файли форматів різних систем САПР.

Користувач може працювати з декількома растровими зображеннями в одному проекті Vectory, використовуючи як фон кольорові растрові зображення.

Vectory дає найвищу якість автоматичної векторизації. У програмі використовуються унікальні алгоритми конвертації, що проводять векторні зображення, які майже не вимагають додаткового редагування.

Функції автоматичної векторизації включають:

- Розпізнавання відрізків, дуг і штрихувань.
- Розпізнавання текстів (OCR) з навчанням для розширення діапазону розпізнаваних символів.
- Апроксимація довільних кривих полілініями.
- Апроксимація контурів площадкових растрових об'єктів.
 - Розпізнавання типів ліній об'єктів, стрілок на відрізках і дугах.
 - Можливість задати примусове вирівнювання відрізків прямих до правильних кутів при розпізнаванні.
 - Округлення товщини векторних об'єктів по заданих значеннях.
 - Можливість ігнорувати при векторизації розриви ліній і дуг растрового зображення.
 - Автокорекція результатів розпізнавання: сполучення дуг і відрізків, зведення кінців векторних об'єктів.
 - Векторизація ділянок растрового зображення довільної форми.
- Налаштування розпізнавання з використанням наборів параметрів.

Швидкість також є однією з сильних сторін Vectory. Векторизація креслення формату АТ середньої насиченості займає не більше 20 хвилин.

Vectory, на відміну від більшості інших векторизаторів, може виконати перетворення креслень в пакетному режимі, без втручання оператора. Вибір параметрів, що вимагає участі оператора, проводиться до запуску процесу векторизації. Одна тільки ця можливість збільшує пропускну спроможність системи в 3 рази в порівнянні з інтерактивними системами, де потрібні спостереження і втручання в моменти ухвалення рішень. Поєднання якості, швидкості і простоти використання ставить Vectory на одне з лідируючих місць в світі у області векторизації.

Після перетворення растрового образу креслення у векторний файл зможете завантажити його в КОМПАС-ГРАФІК, щоб виконати необхідне редагування або використовувати дане креслення в новому проекті.

4.9 САПР технологічних процесів

У сьогодення час крім різних систем автоматизації конструювання і моделювання розроблений широкий спектр програм, що автоматизують різні етапи технологічної підготовки виробництва. Вони орієнтовані на використання технологіями машинобудівних підприємств, конструкторами технологічного оснащення, фахівцями, що займаються проектуванням програм обробки на верстатах з ЧПУ.

САПР технологічних процесів КОМПАС-АВТОПРОЕКТ

САПР технологічних процесів КОМПАС-АВТОПРОЕКТ дозволяє різко підвищити продуктивність праці технолога, скоротити терміни і трудомісткість технологічної підготовки виробництва. До складу даного інтегрованого програмного комплексу входять підсистеми проектування технологій: механообробки, штампування, збірки, зварки, термообробки, покриттів, гальваніки, литва, розрахунку норм витрати матеріалів, режимів обробки, нормування трудомісткості технологічних операцій, процедури аналізу технологічних процесів, що дозволяють розраховувати сумарну трудомісткість виготовлення деталей і вузлів, визначати матеріаломісткість і собівартість виробу. У основу роботи КОМПАС-АВТОПРОЕКТ покладений принцип запозичення раніше ухвалених технологічних рішень. В процесі експлуатації системи накопичуються типові, групові, одиничні технології, уніфіковані операції, плани обробки конструктивних елементів і поверхонь. При формуванні поточної технології користувачу наданий зручний доступ до архівів і бібліотек, що зберігають накопичені рішення.

Розробка технологічних процесів (ТП) здійснюється в наступних режимах:

- Проектування на основі техпроцеса-аналога — автоматичний вибір відповідної технології з архіву з подальшим доопрацюванням в діалозі.
- Формування ТП з окремих блоків, що зберігаються в бібліотеці типових технологічних операцій і переходів.
- Об'єднання окремих операцій архівних технологій.
- Автоматичне доопрацювання типової технології на основі даних, переданих з параметризованого креслення КОМПАС-ГРАФІК.
- Введення інформації про ТП в діалоговому режимі за допомогою спеціальних процедур доступу до довідкових баз даних.

У системі реалізована процедура, що дозволяє проектувати крізні технології, що включають одночасно операції механообробки, штампування, термообробки, покриття, зборки, зварки і ін. У комплект документації, що розробляється, входять: титульний лист, карта ескізів, маршрутна, маршрутно-операційна, операційна карти, карта техпроцеса, відомість оснащення, матеріалів і інші документи, відповідні ДОСТ (більше 60 технологічних карт в базовому постачанні), в горизонтальному і вертикальному виконанні в середовищі MS Excel. При необхідності користувач може розробити нові карти, а також внести зміни в існуючі зразки. Ескізи і графічна частина технологічних карт виконуються в середовищі КОМПАС-ГРАФІК і вставляються в листи MS Excel як OLE-об'єкти.

Для розробки документів довільної форми використовується спеціальний генератор звітів, що також формує технологічні карти в середовищі MS Excel. Технологічні процеси, розроблені в КОМПАС-АВТОПРОЕКТ, поміщаються в архів системи в стислому вигляді. Зміст такого архіву доступно для ручного перегляду і коректування. Автоматичний пошук ТП в архіві проводиться або за кодом геометричної форми деталі, або по окремих характеристиках: тип деталі, приналежність до виробу, вид заготовки, габаритні розміри і т.д. По заданих критеріях пошуку система знаходить декілька ТП, залишаючи остаточний вибір за технологом. Змістом архіву розроблених технологічних процесів служить база даних конструкторсько-технологічних специфікацій (КТС — ланцюжок рівнів: Вироб—Вузол—Деталь). Система забезпечує вільне переміщення від одного рівня до іншого, дозволяючи при цьому переглядати і редагувати склад виробів, вузлів і деталей. Кожен рівень має підлеглу таблицю «Документи», записи якої містять посилання на документи, створені в різних додатках: графічні, текстові файли, архівні технології і ін.

Вибір техпроцеса здійснюється процедурою розархівування, яке витягує ТП з архіву і поміщає його в робоче поле КОМПАС-АВТОПРОЕКТ, доступне для внесення змін. Інформація про поточний технологічний процес розподіляється по рівнях Деталь — Операція — Перехід. Користувачу надана можливість переміщатися по рівнях, відстежувати склад переходів по кожній технологічній операції, здійснювати необхідне коректування. При цьому ТП, що знаходиться в архіві, не міняється. Модифікована технологія може бути поміщена назад в архів під колишнім або новим ім'ям.

Процедури обробки ВВС дозволяють проводити вибірки деталей по приналежності до виробів, складальних одиниць, цехів виготовлення і т.д. На їх основі формуються зведені норми, заявки на матеріал, що комплектують карти і інші технологічні документи.

Реалізовані процедури, що дозволяють глобально коректувати будь-яку інформацію в архіві технологічних процесів (наприклад, заміна застарілих ДОСТ оснащення), розраховувати сумарну трудомісткість виготовлення деталей і складальних одиниць, визначати матеріаломісткість і собівартість виробу в цілому.

Система забезпечує зручну організацію баз даних і швидкий доступ до необхідної інформації. Вона володіє добре організованим діалоговим інтерфейсом, що забезпечує легке і наочне переміщення по всіх базах даних. Прийоми роботи з БД ідентичні, що спрощує їх супровід. Програма підтримує діалоговий доступ до відомостей про устаткування, інструменти, матеріали і т.д. У будь-який момент ці дані можуть бути виведені на екран, скоректовані або поповнені. У інформаційному просторі КОМПАС-АВТОПРОЕКТ можна створювати нові інформаційні масиви, коректувати склад і розмірність їх полів. Взаємодія між таблицями даних в КОМПАС-АВТОПРОЕКТ побудована на динамічно формованих SQL-запитах. Оператори SQL генеруються або автоматично, або за шаблоном, заданим користувачем. Інформаційні масиви, що є у користувача, легко включаються до складу баз даних системи КОМПАС-АВТОПРОЕКТ.

Однією з основних переваг КОМПАС-АВТОПРОЕКТ є можливість модернізації системи без участі розробника. Коректується склад і структура всіх баз даних, настроюються форми технологічних документів, підключаються нові програмні модулі.

Гнучкість програмного і інформаційного забезпечення дозволяє швидко адаптувати систему до будь-яких виробничих умов.

Інструментальні засоби системи дозволяють розробляти на її основі призначені для користувача додатки.

САПР КОМПАС-АВТОПРОЕКТ складається з ядра і оточення прикладних завдань. Основні функціональні режими системи діляться на дві групи: функції підсистеми проектування і функції підсистеми управління базами даних (СУБД).

Функції підсистеми проектування:

- автоматизоване проектування технологічних процесів;
- інтеграція з КОМПАС-ГРАФІК і КОМПАС-МЕНЕДЖЕР;
- матеріальне і трудове нормування;
- автоматичне формування комплексу технологічної документації (горизонтальне і вертикальне виконання);
- каталогізація розроблених ТП в архіві технологій;
- можливість глобального аналізу архівних технологій з передачею результатів в АСУП;

- можливість розробки крізного ТП і підключення нових технологічних переділів;
- оперативний перегляд графіки: креслень деталей, інструментів, ескізів операцій і т.д.;
- можливість настройки зразків технологічних документів;
- архівація поточного комплексу технологічних документів в архіві карт;
- ведення конструкторсько-технологічних специфікацій (BBC);
- автоматичний пошук технологій за кодом або текстовим описом деталі в базі даних BBC;
- автоматизоване формування коду деталі у відповідності ЄСКД і ТКД;
- архівація поточного складу специфікацій в архіві виробів;
- розрахункові процедури.

4.10 Інженерні розрахункові додатки АРМ WinMachine -система розрахунку і проектування в машинобудуванні і будівництві

АРМ WinMachine є комплексним програмним забезпеченням для автоматизованого проектування деталей машин, механізмів, елементів конструкцій і вузлів. Вона адресована інженерам і конструкторам, зайнятим розробкою нового і модернізацією існуючого механічного устаткування.

За допомогою WinMachine можна розрахувати понад 80% деталей машин, використовуваних в сучасному машинобудуванні. Багато методів, реалізованих в WinMachine, є унікальними і не мають аналогів. WinMachine включає сучасні, ефективні і надійні алгоритми і програми для розрахунку:

- енергетичних і кінематичних параметрів;
- міцності, жорсткості і стійкості;
- витривалості при змінних зовнішніх навантаженнях;
- вірогідності, надійності і зносостійкості;
- динамічних характеристик.

Крім того, в WinMachine є набір інструментальних засобів розрахунку і аналізу. Ці засоби, а також проєктовані деталі, залежно від призначення розділені на підсистеми, які можуть функціонувати самостійно.

Все це утворює єдиний комплекс WinMachine, який складається з наступних модулів.

Машинобудування:

WinJoint - підсистема розрахунку і проектування з'єднань машин і елементів конструкцій, яка дозволяє виконати комплексний розрахунок всіх типів різьбових, зварних, заклепувальних з'єднань і з'єднань деталей обертання.

WinTrans - підсистема проектування передач обертання. Ця підсистема призначена для розрахунку всіх типів зубчатих передач, а також черв'ячних, ремінних і ланцюгових передач, і виконання креслень елементів цих передач в автоматичному режимі.

WinScrew - підсистема для розрахунку неідеальних передач поступальної ходи. Вона здатна розрахувати гвинтові передачі ковзання, шарико-гвинтові і планетарні гвинтові передачі.

WinSlider - підсистема розрахунку і проектування важельних механізмів, довільної структури.

WinBear - підсистема розрахунку неідеальних підшипників кочення. Вона виконує комплексний аналіз опор кочення всіх відомих типів.

WinPlain - підсистема розрахунку і аналізу радіальних і наполегливих підшипників, що працюють в умовах рідинного і напіврідинного тертя.

WinShaft - підсистема розрахунку, аналізу і проектування валів і осей.

WinFEM2D - підсистема розрахунку напружено-деформованого стану плоских деталей методом кінцевих елементів.

WinCam - підсистема розрахунку і проектування кулачкових і мальтійських механізмів з автоматичним генератором креслень.

WinSpring - підсистема розрахунку і проектування пружин і інших пружних елементів машин. Дозволяє розрахувати і викреслити пружини стиснення, розтягування і кручення, плоскі пружини, а також тарілчасті пружини і торсіони.

MDM - електронний підручник "Основи проектування машин", в якому викладені основні методи розрахунку, використані при розробці системи.

WinData - підсистема зберігання і редагування стандартних і інформаційних даних, необхідних для функціонування кожної з перерахованих вище підсистем.

Будівництво:

WinFrame3D - підсистема розрахунку напружено-деформованого стану тривимірних рамних конструкцій.

WinTruss - підсистема розрахунку і проектування плоских формених конструкцій методом кінцевих елементів.

WinBeam - підсистема розрахунку і проектування балочних елементів конструкцій.

WinStructure 3D - підсистема розрахунку напружено-деформованого стану тривимірних стрижневих, пластинчастих і плиткових конструкцій.

MSC/NASTRAN i Working Model для SolidWorks

MSC/NASTRAN для Windows - це система інженерних розрахунків, заснована на методі кінцевих елементів. Пакет розроблений фахівцями фірми MacNeal Schwendler Corporation (США) на базі широко відомої однойменної системи для UNIX.

Геометричні моделі для MSC/NASTRAN можна як формувати за допомогою внутрішнього препроцесора системи, так і імпортувати з будь-якої іншої CAD-системи. MSC/NASTRAN для Windows має прямий інтерфейс з системою твердотільного параметричного моделювання SolidWorks. Крім того, система може працювати з готовими кінцевоелементними моделями, які були створені за допомогою інших систем інженерних розрахунків і потім передані в MSC/NASTRAN.

Система має модульну архітектуру, і конкретна конфігурація може бути визначена окремо для кожного користувача. При цьому для роботи з будь-яким з додаткових модулів необхідно мати базовий модуль Basic Analysis, який дозволяє проводити наступні види розрахунків:

- Лінійні статичні розрахунки. Аналіз напруг і переміщень під впливом як фізичних, так і теплових навантажень;
- Розрахунок власних частот і форм коливань;
- Визначення подовжнього вигину для центрально навантаженого стрижня.

Модулі Advanced Analysis розширюють можливості базового модуля і дозволяють проводити нелінійний і динамічний аналіз, а також тепловий розрахунок.

Модуль нелінійного аналізу (Nonlinear Analysis) дозволяє вирішувати статичні і динамічні задачі з урахуванням фізичної і геометричної нелінійності.

Розглядаються наступні види фізичної нелінійності (нелінійні властивості матеріалів):

Пластичність (для малих деформацій);

- Умови текучості по Мізесу і Треску;
- Умови текучості Мора-Кулона і Друкера-Прагера;
- Ізотропне, кінематичне і комбіноване зміцнення;
- Білінійний і багатоточковий методи завдання кривих залежності напруг від деформацій.
- Гіперпружні властивості (для великих деформацій);
- Нелінійна пружність (для малих деформацій);
- Термопружність;
- В'язкопружність (повзучість);
- Вязкоупругість з урахуванням пластичності.

Геометрична нелінійність:

- Великі переміщення і великі кути повороту (модифікований лагранжیان);
- Великі деформації (повний лагранжیان для гіперпружних матеріалів);
- Аналіз втрати стійкості (проклацування);
- Стежачі навантаження.

Модуль розрахунку теплопередачі (Heat Transfer) вирішує наступні задачі:

- Лінійний і/чи нелінійний сталий стан;
- Лінійні і/чи нелінійні перехідні процеси;
- Простий перехід до розрахунку температурних деформацій і напруг.

Модуль динамічного аналізу (Dynamic Response) призначений для вирішення завдань дослідження напружено-деформованого стану конструкцій, які схильні до дії навантажень, що змінюються залежно від часу або частоти.

Повністю інтегрована в MSC/NASTRAN для Windows система CFDDesign вирішує задачі гідрогазодинаміки, включаючи ламінарний і турбулентний перебіг рідини і газу з можливістю розрахунку процесів теплопередачі.

Існує і «полегшений» модуль MSC Working Model, повністю інтегрований з пакетом SolidWorks (що працює як вбудований додаток) і призначений спеціально для конструкторів, що працюють з Solid-Works, але що не володіють глибокими теоретичними знаннями у області розрахунків методом кінцевих елементів.

Design Works

Design Works є комплексом повністю інтегрованих в SolidWorks систем інженерних розрахунків, розроблених фірмою GADSI (США).

Design Works включає три самостійні програмні продукти, які можуть бути придбані як окремо, так і в будь-яких поєднаннях:

- Design Works/Motion для кінематичного аналізу зборок, створених в SolidWorks;
- Design Works/Structure для розрахунків на міцність;
- Design Works/Thermal для теплових розрахунків.

До основних можливостей Design Works/Motion належать:

- Автоматичне використання геометричних зв'язків, заданих між деталями в збірці SolidWorks;
- Кінематичний і динамічний аналіз зборок;
- Розрахунок координат, швидкостей, прискорень і сил взаємодії;
- Анімація зборок в SolidWorks;
- Передача результатів розрахунків в Design Works/Structure.

Design Works/Structure забезпечує:

- Використання твердотільної моделі, створеної в SolidWorks;
- Автоматичне нанесення сітки МКЕ;
- Перевірку напруг, переміщень і власних частот;
- Контроль збіжності рішення за допомогою графіка збіжності.

Design Works/Thermal дозволяє проводити теплові розрахунки моделей, створених в SolidWorks, методом кінцевих елементів. Точність рішення контролюється за допомогою графіка збіжності.

Розбиття на сітку кінцевих елементів проводиться на базі р-елементів, що дозволяють з високим ступенем точності відобразити реальну твердотільну геометрію деталі або вузла. Висока точність рішення досягається за рахунок підвищення ступеня полінома, що описує форму кінцевого елемента.

Інтегрована система аналізу конструкцій Structure CAD

Проектно-обчислювальний комплекс Structure CAD реалізований як інтегрована система міцностного аналізу і проектування конструкцій на основі методу кінцевих елементів і дозволяє визначити напружено-деформований стан конструкцій від статичних і динамічних впливів, а також виконати ряд функцій проектування елементів конструкцій.

У основу комплексу покладена система функціональних модулів, зв'язаних між собою єдиним інформаційним середовищем. Функціональні модулі SCAD діляться на чотири групи. До першої групи входять модулі, що забезпечують введення початкових даних в інтерактивному графічному режимі (графічний препроцесор) і графічний аналіз результатів розрахунку (графічний постпроцесор). Модулі другої групи служать для виконання статичного і динамічного розрахунку (процесор), а також обчислення розрахункових поєднань зусиль (РПЗ), комбінацій загрузень, головних і еквівалентних напруг, реакцій, навантажень на фрагмент схеми, розрахунок стійкості (ці модулі умовно називаються розрахунковими постпроцесорами). Документування результатів розрахунку виконується модулями третьої групи. У четверту групу включаються проектуючі модулі (що проектують постпроцесори), які служать для підбору арматури в елементах залізобетонних конструкцій, розрахунку і проектування вузлів металоконструкцій і ін.

Обчислювальний модуль дозволяє вирішувати задачі статичної і динамічної з великою (до 392 000) кількістю м'яких зв'язків і високою точністю. Бібліотека кінцевих елементів містить різні види стрижневих елементів, включаючи шарнірно-стрижневі, рамні, балочного елемента на пружній підставі, дозволяє враховувати зрушення в перетині стрижня. Пластинчасті елементи, які представлені 3-х і 4-х вузловими елементами плит, оболонок і балок-стінок, можуть включати додаткові вузли на ребрах і забезпечують рішення задач для матеріалів з різними властивостями (з урахуванням ортотропії, ізотропії і анізотропії). Крім того, бібліотека включає різні види об'ємних елементів, набір 3-х і 4-х вузлових багатокульових і вісьсиметричних кінцевих елементів, а також спеціальні елементи для моделювання зв'язків кінцевої жорсткості, пружних зв'язків та інші.

У комплекс включені параметричні прототипи багатоповерхових і одноповерхових рам, ферм з різним контуром поясів і грат, балочних елементів, а також поверхонь обертання (циліндр, конус, сфера і тор). Для створення розрахункових схем перерахованих вище конструкцій досить ввести мінімальну кількість

початкових даних. В процесі формування таких схем можуть бути автоматично призначені умови спирання, типи кінцевих елементів і ряд інших параметрів. Бібліотека параметричних прототипів постійно розширюється і удосконалюється.

Результати розрахунку можуть бути представлені у вигляді схем переміщень і прогинів, епюр, ізоліній і ізополей. Одночасно на схему можуть виводиться і числові значення чинників. Разом з результатами розрахунку засоби графічного аналізу дозволяють відобразити на схемі у вигляді епюр (для стрижньових елементів) або ізоліній і ізополей (для пластин) результати роботи модуля підбору арматури в елементах залізобетонних конструкцій, включаючи таку інформацію, як площа арматури в заданому напрямі, ширину розкриття тріщин, відсоток армування і ін.

Модулі документування результатів розрахунку дозволяють сформувати таблиці з початковими даними і результатами в текстовому або графічному форматах, а також експортувати їх в MS Word або MS Excel.