

СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА ПРОЦЕС ТА ОБ'ЄКТ ПРОЕКТУВАННЯ

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 конкретно 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, зупинимося 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 уміння 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. Ползунов. Збереглися креслення численних складних механізмів і верстатів, виконаним 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 проектованого 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 вищеназваних 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. Ростає 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:**

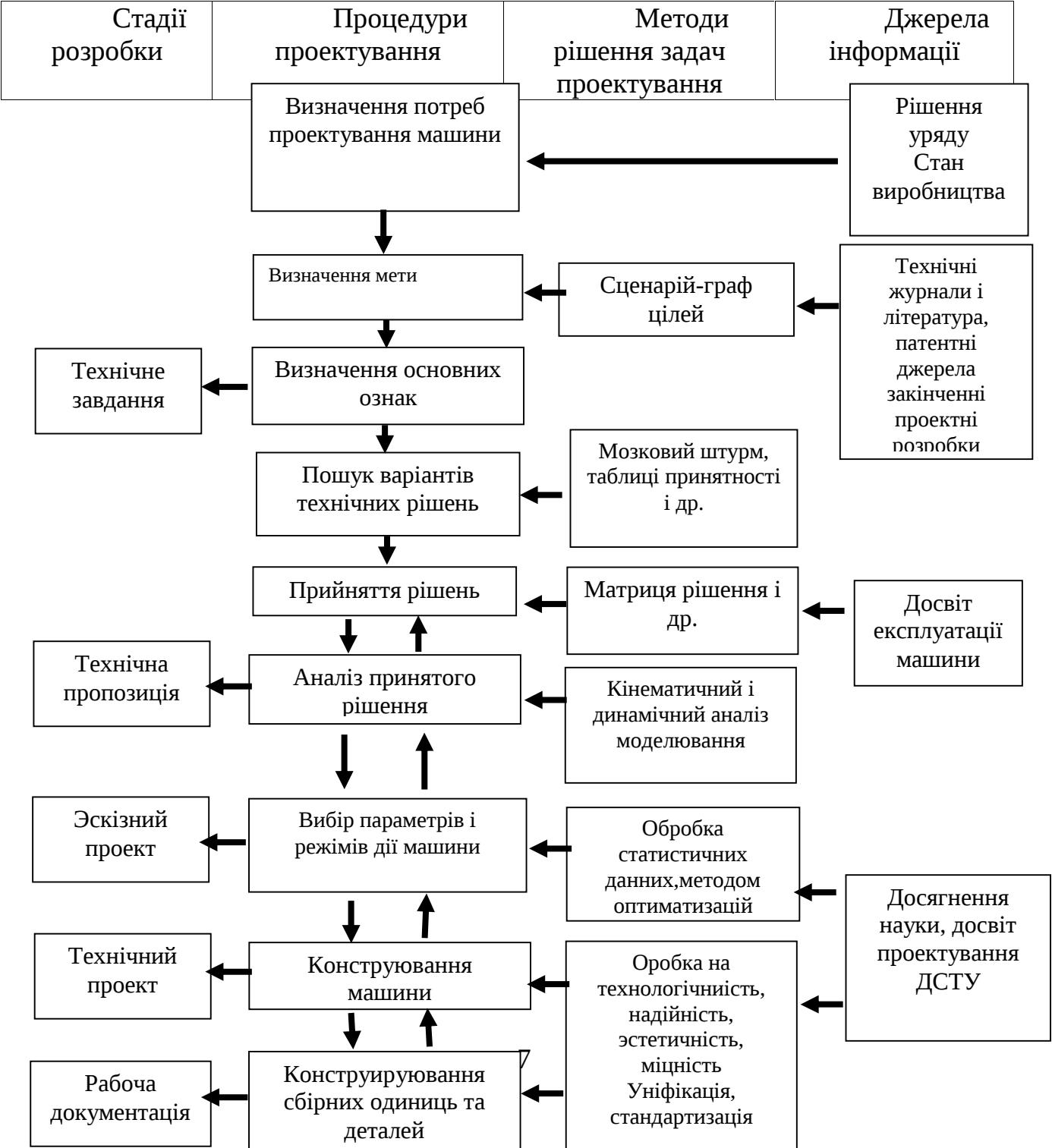
- 1)при пошуку варіантів об'єкт розглядається як комплекс абстрактних функцій;
- 2)кожна функція об'єкту проектування і його елементів розглядається системно;
- 3)технічне і економічне відпрцьованих рішень визначається паралельно;
- 4)орієнтиром в процесі проектування виступають допустимі ліміти витрат 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.

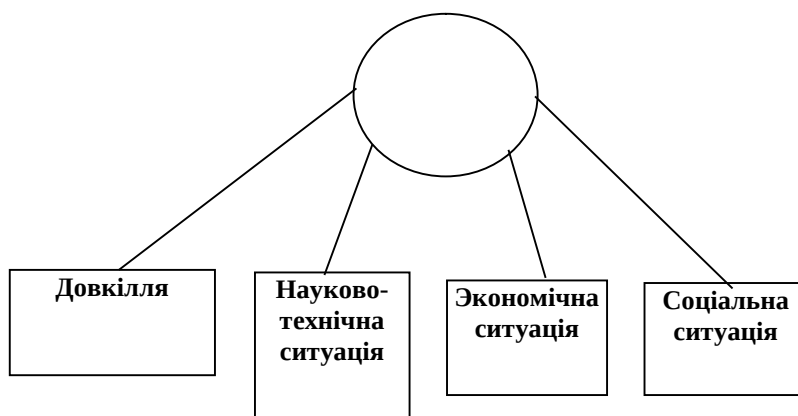


Рис 1.2 Чинники оточення об'єкту проєктування

На першому етапі складання сценарію формуються найзагальніші 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. Складати 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 ретроспективно 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 по елементарних функціях	А,Б,В,Д	А - Д	А, Б	А, Б		
Екстраполяція з дисконтуванням	А,Б,В	А - Д	А, Б	У, Г		
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	А,Б,В	А,Б,В	У, Г	Б, В	

концептуальний аналіз					
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:

$$K_{\text{оби}} = \frac{S}{\sum},$$

де:

S - 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

Рівні інформації

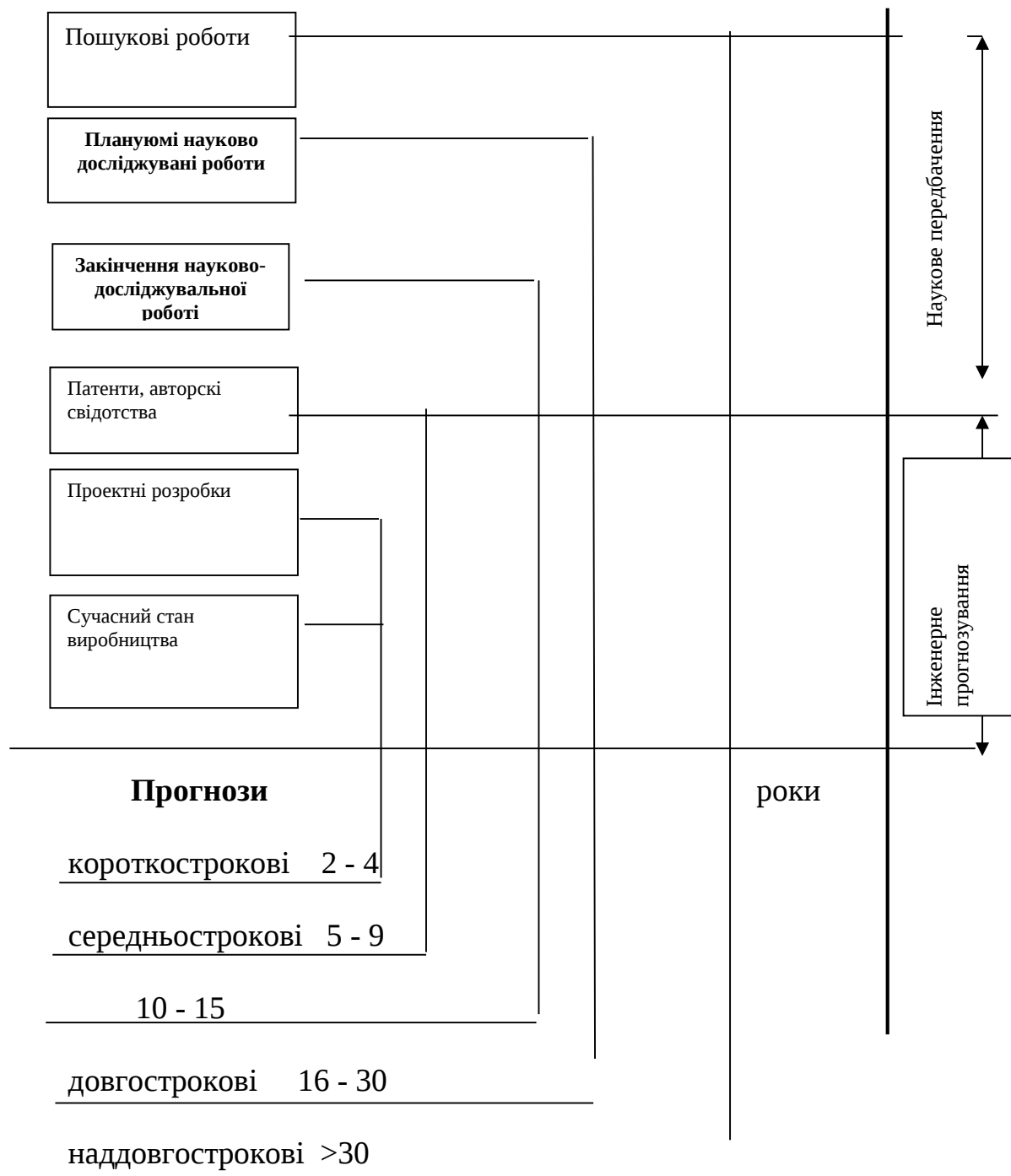


Рисунок 1.3 Джерела інформації і тимчасові періоди прогнозування.

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 технічним вимірюваннями, метрологічні обґрунтування якості продукції; «Надійність машин», що дає можливість оцінити такі властивості майбутнього об'єкту нової техніки, як безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, сохрانیсть; «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 обгрунтовано 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 теорій віддзеркалення дозволив віднести цей процес до розпізнавання об'єкту, що найкращим чином відповідає поставленим цілям.

Для образності представимо: все, що потрібне 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:

- А - безліч цілей;
- Р - безліч ознак;
- Х - безліч технічних рішень;
- У - безліч оцінок

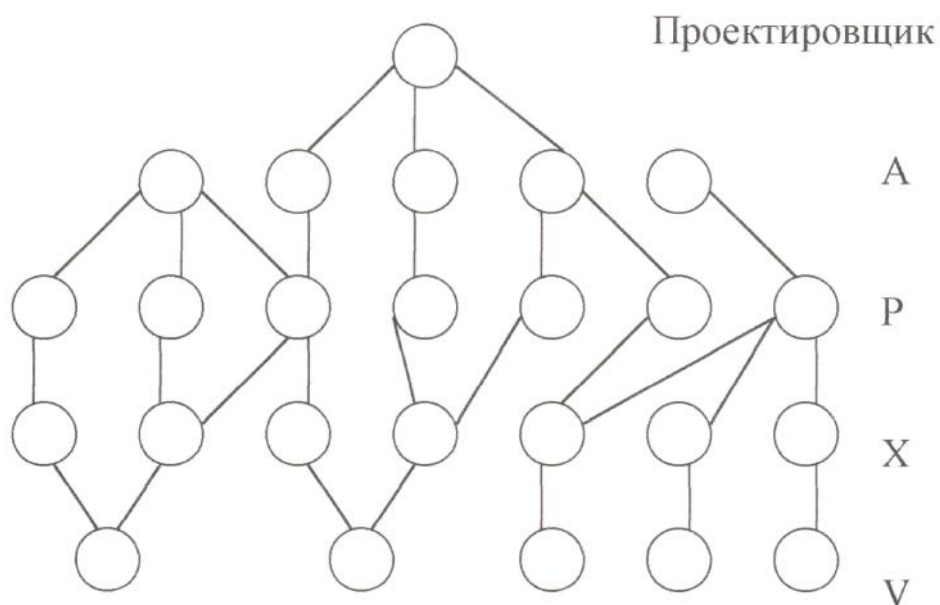


Рисунок 1.4 Схема основних компонентів проектування.

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:

$$(A: (yOj(A_0)) \rightarrow V) \rightarrow opt. \quad (6)$$

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, багатоетапність 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 проєктовані 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 проєктувальників.

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 проєктований об'єкт.

На кожному ієрархічному рівні використовуються свої поняття системи і елементів. На рівні 1 (верхньому рівні) належний проєктуванню складний об'єкт S розглядається як система S з i 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*.

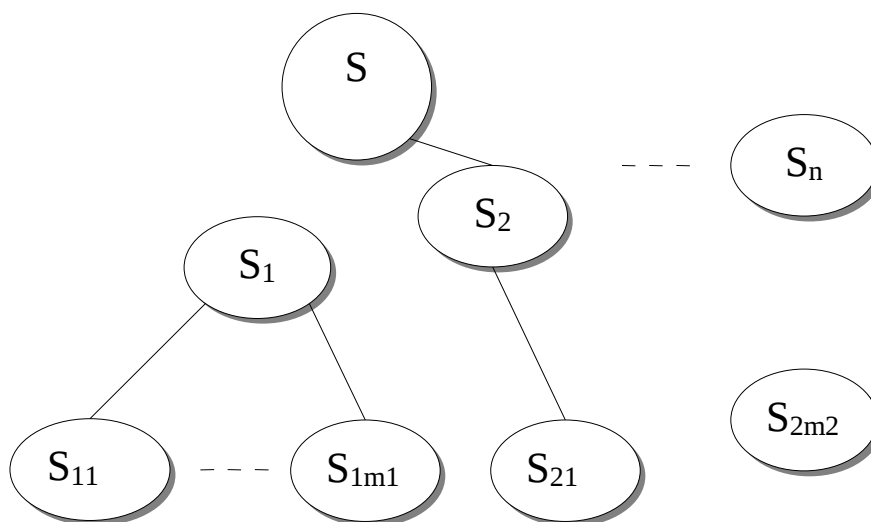


Рис 1.5 Ієрархічні рівні

Таким чином, *принцип ієрархічності* означає структурування уявлень про об'єкти проєктування по ступеню детальності описів, а *принцип декомпозиції (блочності)* — розбиття представлень кожного рівня на ряд складових частин (блоків) з можливостями роздільного (поблочного) проєктування 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, маслорозбивач, вал, зубчате 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 *комплекту* — 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.

Усередині кожного аспекту можливо своє специфічне виділення ієрархічних рівнів. Так, функціональний аспект опису прокатного устаткування включає відмічені вище ієрархічні рівні принципів, функціональних і структурних схем. В той же час конструкторському аспекти 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 реалізовувана 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 принципів 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

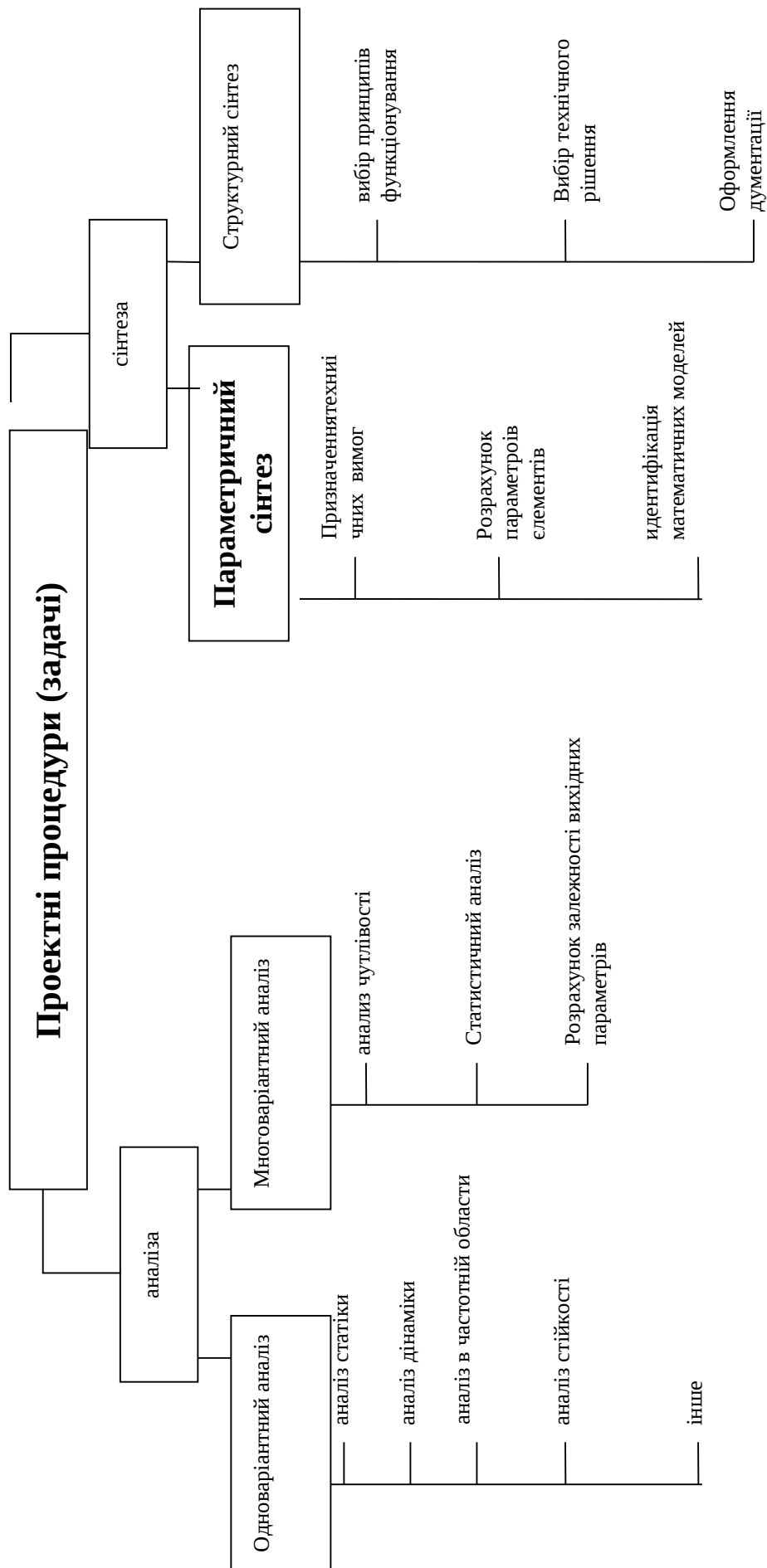


Рисунок 1.6 Класифікація типових проектних процедур

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 какой-

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, итерационность 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 ухвалюваних 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 проектні рішення. Проте для проміжних вирішень, призначених для використання власне при проектуванні, характерні специфічні форми уявлення, прийняті в даній системі проектування. 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 проектування, оскільки виконання проектних процедур при автоматизованому проектуванні 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 проектуванні 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*.

