

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Харківський політехнічний інститут»

ІНЖЕНЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

Навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету
протокол № від 22.06.2017 р.

Харків
Підручник НТУ «ХПІ»
2018

УДК 664.3.032(075)
ББК 35.782я7
Г52

Р е ц е н з е н т и :

М. І. Осейко, д-р техн.наук, професор кафедри технології жирів та парфумерно–косметичних продуктів Національного університету харчових технологій;

В. Ю. Папченко, канд. техн. наук, заступник директора
Українського науково-дослідного інституту олій та жирів НААН

А в т о р и :

З. М. Товстолуг, О. М. Півень

Інженерне проектування технології: навч. посіб. / З. М. Товстолуг,
Г52 О. М. Півень. – Харків : Підручник НТУ «ХП», 2018. – 135 с.

ISBN 978–966–2426–56–4

Розглянуто теоретичні основи інженерного проектування технологій харчових виробництв. Викладено основи методології технічної творчості та основні принципи проектування технологічних систем з урахуванням сучасного рівня наукової і прикладної проблематики. Наведено методи вирішення широкого спектру задач та удосконалення технологічних процесів з використанням системного аналізу.

Призначено для студентів спеціальності «Харчові технології», аспірантів, науково-педагогічних та інженерно-технічних працівників харчової галузі.

Іл. . Табл. . Бібліогр.: назв.

УДК 664.3.032(075)
ББК 35.782я7

ISBN 978–966–2426–56–4

© Вид-во «Підручник НТУ «ХП», 2018

ЗМІСТ

Частина 1. ІНЖЕНЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ	6
ВСТУП	6
Розділ 1. Визначення науки технічної творчості	8
1.1. Теорія предмета технічної творчості	8
1.2. Методологія технічної творчості	9
Контрольні питання	10
Розділ 2. Основні принципи проектування	10
2.1. Принципи і задачі проектування	10
2.1.1. Декомпозиція та ієрархічність описів об'єктів	10
2.1.2. Складові частини процесу проектування	12
2.1.3. Низхідне і висхідне проектування	13
2.1.4. Зовнішнє і внутрішнє проектування	14
2.1.5. Уніфікація проектних рішень і процедур	15
2.1.6. Види описів об'єктів проектування і класифікація їх параметрів	15
2.2. Типові проектні процедури	16
2.2.1. Класифікація типових проектних процедур (задач) проектування	16
2.2.2. Типова послідовність проектних процедур	17
Контрольні питання	20
Розділ 3. Частини проекту харчового підприємства	21
3.1. Техніко-економічна частина проекту	21
3.2. Частина проекту «Генеральний план і транспорт»	22
3.3. Частина проекту «Технологія виробництва і захист довкілля»	26
Контрольні питання	27
Частина 2. ІНЖЕНЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ	28
ВСТУП	28
Розділ 4. Загальні поняття про системи та їх характеристики	38
4.1. Система та її елементи	38
4.1.1. Характеристики систем	39
4.1.2. Властивості відкритих систем	40
4.2. Системні дослідження	42
4.2.1. Предмет системних досліджень	42
4.2.2. Проблеми теорії систем	42
4.2.3. Схема системних досліджень харчових виробництв	49
4.3. Математичне моделювання технологічних систем	53

4.3.1. Планування використання моделі.....	57
4.3.2. Планування оптимізаційних експериментів	57
4.3.3. Складання робочих гіпотез та планування експериментів з перевірки цих гіпотез	58
4.4. Стратегія математичного моделювання технологічних систем	58
4.4.1. Розробка математичних моделей технологічних систем	59
4.4.2. Види математичних моделей	61
4.5. Моделювання структури технологічної системи	64
4.5.1. Операторні схеми	65
4.6. Топологічний метод аналізу технологічних систем	69
4.6.1. Дослідження технологічних систем на основі структурних (топологічних) моделей.....	70
Контрольні питання.....	70
Розділ 5. Комплекс критеріїв як основний метод технічної творчості.....	72
5.1. Вибір критеріїв.....	73
5.1.1. Принципове підґрунтя для вибору критеріїв.....	73
5.1.2. Критерій соціально–технічної адекватності	74
5.1.3. Надійність ефективності задоволення потреби	76
5.1.4. Надійність нешкідливості впливу оточення	77
5.1.5. Надійність ефективної дії оператора.....	78
5.1.6. Ергономічні критерії.....	78
5.1.7. Проблема надійності задоволення потреби	80
5.1.8. Потреба й антипотреба.....	80
5.1.9. Критерій усунення надмірності.....	81
5.1.10. Мінімізація сукупного нестатку	82
5.2. Обґрунтування доцільності створення виробу.....	83
5.2.1. Критерії функціонування.....	84
5.2.2. Критерії технічної адекватності.....	84
5.2.3. Критерії, що впливають з економічного обґрунтування	85
5.2.4. Виробничі критерії	86
5.2.5. Вимоги конкретних споживачів	87
Контрольні питання	87
Частина 3. СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ...	88
ВСТУП.....	88
Розділ 6. Історія САПР.....	91
6.1. Ціль створення САПР.....	95
6.2. Основні принципи побудови САПР	97
6.3. Програмне забезпечення САПР	99
6.3.1. Структура пакета програмного забезпечення Rebis	102

6.4. Математичне забезпечення автоматизованого проектування	108
6.4.1. Математичні моделі	108
Контрольні питання	115
6.5. Постановка й підходи до розв'язування завдань аналізу.....	116
6.5.1. Вимоги до методів і алгоритмам аналізу	116
6.5.2. Математична постановка типових завдань аналізу.....	117
6.5.3. Особливості постановки й розв'язування завдань аналізу на метарівні	117
6.6. Постановка й підходи до розв'язку завдань синтезу	118
6.6.1. Класифікація завдань параметричного синтезу	118
6.6.2. Підходи до розв'язку завдань структурного синтезу.....	121
6.7. Інформаційне забезпечення САПР	124
6.8. Лінгвістичне забезпечення САПР	130
6.9. Організаційне забезпечення САПР	134
Контрольні питання.....	134
 ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	 136

ЧАСТИНА 1. ІНЖЕНЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ

ВСТУП

Область діяльності проєктувальників і конструкторів нерозривно пов'язана з двома важливими поняттями – система і конструкція. Обое вони визначають істотні властивості технічних засобів, з яких створюється техносфера, що обумовлює можливість розвитку людського суспільства. У результаті сучасної науково–технічної революції відбувається безперервне ускладнення техносфери. В міру зростання складності техносфери ускладнюються і проблеми задоволення матеріальних потреб людини. Усе це підвищує відповідальність творців техносфери – проєктувальників і конструкторів, що зобов'язані давати правильні відповіді на ретельно виявлені і точно визначені потреби. Технічні системи і конструкції – результати інженерної діяльності.

Усі частіше відзначається той факт, що удосконалювання існуючого стану техносфери вимагає більш глибокого розуміння значення інформації, тобто того, що зменшує ступінь незнання. З цього можна зробити висновок: необхідно розуміти технічну інформацію як результат науково–технічної діяльності. Таким чином, властивості й особливості технічних засобів, створених інженерами, являють собою технічну інформацію (коммунікат), завдяки якій стає можливим виготовити виріб і забезпечити його функціонування як технічного засобу.

В основі двох різних термінів – проєкт і виріб – закладений зміст творчої технічної діяльності. Проєкт є результатом розумової діяльності в сфері інформації, а виріб – це результат діяльності в сфері матеріальних об'єктів, тобто в сфері маси й енергії.

Проєктування і конструювання являють собою діяльність із задумами. Виготовлення й експлуатація – це діяльність з виробами. Значені області інженерної діяльності доповнюються дослідженнями. Дослідницька діяльність в області технічних засобів переплітається з діями над матеріальними об'єктами. Однак у цій діяльності нас насамперед цікавлять проєкти, розглянуті як результати розумової праці, що ґрунтується на експериментальних даних. Результати наукових і

практичних досліджень приводять до створення проекту, тобто нової інформації.

Соціальний обов'язок інженера зводиться до ретельного виявлення і визначення потреби. Зв'язаний з цим комплекс процедур у процесі проектування і конструювання має величезне значення.

Після виявлення й ідентифікації потреби інженери приступають до обмірковування способу дій, що повинний забезпечити задоволення потреби. При нашому підході логічною основою такої дії є система. Вона визначає основну властивість технічного засобу.

Система як проект являє собою головний об'єкт проектування. Розроблений спосіб дії асоціюється з деякою уявлюваною моделлю матеріального комплексу, що повинний стати технічним засобом.

Таким чином, ми підходимо до понять об'єктів проектування: до них відносяться система і конструктивний вид. Конструктивний вид являє собою першу конкретизацію структури виробу. Тепер завдяки введеним поняттям ми можемо відокремити проектування від конструювання. Конструкція є об'єктом процесу конструювання. Вона відповідним чином визначає структуру і стан виробу.

Якщо ми говоримо, що конструкція ґрунтується на проекті, то це означає, що система і конструктивний вид, що представляють собою сутність проекту, обрані як визначальні властивості об'єкта в процесі його конструювання. Таким чином, проектування передуює конструюванню.

Проектна і конструкторська документація являє собою головні засоби зв'язку між діями в сфері абстракцій і діями в сфері конкретностей.

Проектувальник має справу з проектами, тобто він трудиться в сфері абстракцій. Однак його діяльність зв'язана з діяльністю в матеріальній сфері. З урахуванням єдності дій у відношенні проектів і виробів виявляються необхідними засоби спілкування між інженерами. Цими засобами служать усілякого роду комунікати: опис потреби (технічне завдання); проектна документація, що представляє собою запис системи і конструктивного виду; так називані робочі креслення, що відбивають запис конструкції, і, нарешті, дослідницькі звіти.

У зв'язку з використанням персональних комп'ютерів у творчому проектно-конструкційному процесі виникають проблеми нових мов, орієнтованих на операційне значення запису.

Розроблена на основі кібернетичного опису технічних засобів теорія технічних систем додала сенс тому, що ми називаємо системним підходом у процесі проектування. Системний підхід являє собою основу системного проектування, що ми протиставляємо частковому проектуванню.

Про системне проектування говорять, коли вирішують технічну задачу для частини з урахуванням цілого.

Розділ 1

ВИЗНАЧЕННЯ НАУКИ ТЕХНІЧНОЇ ТВОРЧОСТІ

У наш час через те, що швидко відбуваються зміни у техносфері чітко виявляється потреба розвитку загальтехнічних дисциплін, якими повинні бути:

наука технічної творчості (тобто проектування і конструювання);

наука виготовлення;

наука експлуатації.

Наука технічної творчості повинна створювати раціональну основу проектування і конструювання. Об'єкт проектування – система. Об'єкт конструювання – конструкція.

Система являє собою логічну основу як конструкції, так і дії технічних засобів. При визначенні, так само як і при створенні системи, або приймаються в увагу конструкції існуючих технічних засобів, або створюються нові конструкції, обумовлені змінами в техносфері. Конструкція служить безпосередньою й істотною основою виготовлення, у підсумку вона визначає можливість реалізації функції технічних засобів у рамках визначеної функціональної системи.

Дослідження технічної творчості і насамперед – предмета цієї творчості дозволило виділити основні елементи науки проектування і конструювання. Ними є:

теорія технічних систем;

теорія конструювання;

методологія проектування;

методологія конструювання;

теорія запису конструкції;

методологія дослідно–конструкторських робіт і системних досліджень; монографії про конструювання.

1.1. Теорія предмета технічної творчості

Технічна творчість має свої основи в техніці. Під технікою ми розуміємо знання про способи оперування матерією; технічна діяльність спирається на ці знання.

Теорія технічних систем і теорія конструювання сприяють раціональному розумінню істотних властивостей технічних засобів і тих виробів, що повинні стати цими засобами; як уже було сказано, у нашому підході:

система визначається сукупністю перетворень енергії, маси й інформації і взаємозв'язків між ними, що характеризують входи і виходи технічних засобів;

конструкція являє собою комплекс структур і станів виробу.

1.2. Методологія технічної творчості

Технічна творчість складається з проектування і конструювання. Методологія проектування і методологія конструювання можуть розумітися і часто розумілися лише інтуїтивно або на основі здорового глузду.

Установлення понять технічної системи і конструкції виробу дозволяє точно визначити процес проектування і процес конструювання, а згодом об'єктивно сформулювати основи методології проектування і конструювання.

Методологія творчої технічної діяльності насамперед включає:

опис творчої діяльності з виділенням процедур, з яких складаються проектування і конструювання;

методи творчої діяльності або їхньої основи.

Ступінь розчленовування і точність визначення існуючих на сьогоднішній день понять у науці технічної творчості різні, оскільки ця наука знаходиться ще на початковій стадії розвитку. Однак її роль тепер набагато важливіше, ніж 20 років тому.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дайте визначення термінів «проект» і «виріб».
2. У чому відмінність поняття «проектування» і «конструювання»?
3. Що таке «система» і «конструктивний вид»?
4. Наведіть засоби спілкування між інженерами у відношенні «проектів» і «виробів».
5. Яка роль «системи» у технічній творчості?
6. Наведіть основні елементи «науки проектування і конструювання».
7. Що включає термін «методологія творчої технічної діяльності»?

Розділ 2

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1. Принципи і задачі проектування

Проектування технологічного об'єкту пов'язане зі створенням, перетворенням і поданням в прийнятній формі образу цього об'єкту. Образ об'єкту чи його складової частини може створюватися в уяві людини в результаті творчого процесу, або генеруватися за деяким алгоритмом в процесі взаємодії людини і комп'ютера. У будь-якому випадку проектування починається за умов наявності завдання на проектування, яке відбиває потреби суспільства на одержання того чи іншого продукту, технології. Це завдання подається у вигляді тих чи інших документів і є висхідним (початковим) описом об'єкту. Результатом проектування, як правило, є повний комплект документації, що містить достатні відомості для виготовлення об'єкту в заданих умовах. Ця документація являє собою кінцевий опис об'єкту.

Проектування – це процес перетворення початкового опису об'єкту в кінцевий опис на основі виконання комплексу робіт дослідницького, розрахункового і конструкторського характеру.

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

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

2.1.1. Декомпозиція та ієрархічність описів об'єктів

Описи технологічних об'єктів повинні бути за складністю узгоджені з можливостями сприйняття їх людиною і можливостями оперування описами в процесі їх перетворення за допомогою наявних засобів проектування. Але виконати цю вимогу в межах деякого єдиного опису, не розподіляючи його на складові частини, виявляється можливим лише для простих об'єктів. Тому стає потрібним структурування описів і відповідний розподіл уявлень про об'єкт проектування на ієрархічні рівні і аспекти. Це дозволяє розподілити роботи з проектування складних об'єктів

між підрозділами проектної організації, що сприяє прискоренню одержання проектних рішень і підвищенню якості проектів.

Розподіл описів за ступенем деталізації властивостей і характеристик об'єкту лежить в основі блочно–ієрархічного підходу до проектування і спричинює появу ієрархічних рівнів в описах об'єкту.

На кожному ієрархічному рівні використовуються свої поняття системи і елементів. На верхньому рівні складний об'єкт, що підлягає проектуванню, розглядають як технологічну систему, що складається з множини взаємозв'язаних і взаємодіючих, як одне ціле, елементів. Кожний з елементів в описі першого рівня являє собою також досить складний об'єкт, котрий, у свою чергу, розглядається як система на другому рівні. Як правило, виділення елементів відбувається за функціональною ознакою. Подібний розподіл продовжується до одержання на деякому рівні елементів, опис яких не підлягає подальшому розподілу. Такі елементи по відношенню до основного об'єкта проектування називають *базовими елементами*.

Отже, принцип ієрархічності означає структурування уявлень про об'єкти проектування за рівнем деталізації описів, а принцип декомпозиції – розподіл уявлень кожного рівня на ряд складових частин з можливостями роздільного (поблочного) проектування об'єктів.

В харчовій технології при проектуванні технологічних процесів загальний опис об'єкту представляють принциповою схемою технологічного процесу. На наступному рівні за системи виступають елементи принципової схеми: обладнання, арматура, трубопроводи. Подальше застосування принципів ієрархічності і декомпозиції призводить до виділення рівнів описів операційної технології, тобто описів технологічних процесів та фізико-хімічних явищ, що відбуваються в елементах системи.

Крім розподілу описів за ступенем деталізації властивостей об'єкту застосовують декомпозицію описів за характером цих властивостей. Така декомпозиція спричинює появу низки аспектів описів: функціонального, конструкторського і технологічного. Розв'язування задач, пов'язаних з перетворенням чи одержанням описів, що відносяться до цих аспектів, називають відповідно *функціональним, конструкторським і технологічним проектуванням*.

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

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

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

Усередині кожного аспекту можливе своє специфічне виділення ієрархічних рівнів. Так функціональний аспект опису технологічної системи включає в себе ієрархічні рівні принципів, функціональних і структурних схем.

2.1.2. Складові частини процесу проектування

Проектування як процес, що розвивається у часі, розділяється на стадії, етапи, проектні процедури і операції.

Під час проектування складних технологічних систем виділяють стадії перед проектних досліджень, технічного завдання і технічної пропозиції, ескізного, технічного, робочого проектів, випробувань і упродовження.

Для конструкторської документації виробів усіх галузей промисловості ДСТ "ЄСКД. Стадії розробки" установлюють стадії розробки і етапи виконання робіт, що наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Стадії розробки і етапи виконання робіт в проектуванні.

Стадії розробки	Етапи робіт
Технічна пропозиція	Підбір матеріалу. Розробка технічної пропозиції з наданням документу літери "П". Розгляд і затвердження технічної пропозиції
Ескізний проект	Розробка ескізного проекту з наданням документу літери "Е". Виготовлення і випробування макетів (за необхідності). Розгляд і затвердження ескізного проекту.
Технічний проект	Розробка технічного проекту з наданням документу літери "Т". Виготовлення і випробування макетів (за необхідності). Розгляд і затвердження технічного проекту.

На стадіях передпроектних досліджень, технічного завдання і технічної пропозиції на основі вивчення потреби суспільства, науково-технічних досягнень в цій чи суміжних галузях промисловості, наявних ресурсів визначають призначення, основні принципи побудови технічного об'єкта і формулюють технічне завдання (ТЗ) на його проектування. Ці стадії також називають стадіями науково-дослідних робіт (НДР).

На стадії ескізного проекту (інакше називають цю стадію дослідно-конструкторських робіт (ДКР) перевіряється коректність і можливість реалізації основних принципів і положень, які визначають функціонування майбутнього об'єкта, а також створюється його ескізний проект.

На стадії технічного проекту виконується всебічне опрацювання усіх частин проекту, конкретизуються і деталізуються технічні рішення.

На стадії робочого проекту формується уся необхідна документація для виготовлення виробу. Далі створюється і випробовується дослідний зразок чи пробна партія виробів. За результатами випробувань вносяться необхідні корективи в проектну документацію, після чого здійснюється упровадження у виробництво на вибраному підприємстві.

Етап проектування – це частина процесу проектування, що включає в себе формування усіх описів об'єкта, що відносяться до одного чи декількох ієрархічних рівнів і аспектів.

Складові частини етапу проектування називають *проектними процедурами*. Проектна процедура – це частина етапу, виконання якої закінчується отриманням проектного рішення. Кожній проектній процедурі відповідає певна задача проектування, що розв'язується в рамках даної процедури. Більш дрібні складові частини процесу проектування, що входять до складу проектних процедур, називають *проектними операціями*. Прикладами проектних процедур можуть служити: оформлення креслення виробу, технологічний розрахунок, вибір типового технологічного рішення. Прикладами проектних операцій є креслення типового графічного зображення, розв'язування системи алгебраїчних рівнянь, що описує статичний стан технологічного процесу.

Таким чином, поняття рівня і аспекту відносяться до структурування уявлень про об'єкт проектування, а поняття етапу – до структурування процесу проектування.

2.1.3. Низхідне і висхідне проектування

Якщо розв'язання задач високих ієрархічних рівнів передують розв'язанню задач нижчих ієрархічних рівнів, то проектування називають *низхідним*. Якщо раніше виконуються етапи, що пов'язані з нижчими ієрархічними рівнями, то проектування називають *висхідним*.

У кожного з цих двох видів проектування є переваги і недоліки. При низхідному проектуванні система розробляється в умовах, коли її елементи ще не визначені і, отже, відомості про їх можливості і властивості носять здогадковий характер. При висхідному проектуванні, навпаки, елементи проектуються рініше за систему, і, отже, здогадковий характер мають вимоги до елементів. В обох випадках через відсутність вичерпної інформації мають місце відхилення від потенційно можливих оптимальних технічних результатів. Однак слід пам'ятати, що подібні відхилення притаманні блочно-ієрархічному підходу до проектування і що будь-якої альтернативи блочно-ієрархічному підходу в проектуванні складних технічних об'єктів не існує. Тому оптимальність результатів блочно-ієрархічного проектування слід розглядати з позицій техніко-економічних показників, що включають в себе, зокрема, матеріальні і погодинні витрати на проектування.

Оскільки припущення, що приймаються, можуть не справдовуватися, часто необхідне повторне виконання проектних процедур попередніх етапів після виконання проектних процедур наступних етапів. Таке повторення забезпечує послідовне наближення до оптимальних результатів і обумовлює ітераційний характер проектування. Отже, ітераційність відносять до важливих принципів проектування складних об'єктів.

На практиці звичайно суміщують висхідне і низхідне проектування. Наприклад, висхідне проектування має місце на усіх ієрархічних рівнях, на котрих використовуються уніфіковані елементи (теплообмінники, резервуари, насоси, арматура, трубопроводи тощо). Очевидно, що уніфіковані елементи, які орієнтовані на використання їх в ряді різноманітних систем певного класу, розробляються раніше, ніж та чи інша конкретна система з цього класу.

2.1.4. Зовнішнє і внутрішнє проектування

При низхідному проектуванні формулювання ТЗ на розробку елементів певного ієрархічного рівня відноситься до проектних процедур цього ж рівня. Інакше складаються справи з розробкою ТЗ на систему вищого ієрархічного рівня чи на уніфіковану систему елементів багатоцільового призначення. Тут розробка ТЗ є самостійним етапом проектування, який має назву *зовнішнього проектування*. На відміну від нього етапи проектування об'єкту по сформульованим ТЗ називають *внутрішнім проектуванням*.

Основою зовнішнього проектування є правильний облік сучасного стану техніки і технології, прогноз їх розвитку на період часу, що не

менший за життєвий цикл об'єкту. Поряд з технічними факторами необхідним є урахування економічних показників, прогноз вартості і строків проектування та виготовлення. На основі вивчення стану і перспектив науково–технічного прогресу група експертів формулює первинний варіант ТЗ на систему. Оцінку можливості виконання сформульованого ТЗ і рекомендації щодо його коригування одержують за допомогою проектних процедур внутрішнього проектування.

Отже, на початкових стадіях проектування складних систем має місце ітераційний процес, в якому по чергово виконуються процедури зовнішнього і внутрішнього проектування – формулювання ТЗ, його коригування, оцінка можливості виконання, прогноз матеріальних і погодинних витрат на проектування і виготовлення.

2.1.5. Уніфікація проектних рішень і процедур

Звичайно уніфікація об'єктів має за мету покращення техніко-економічних показників виробництва і експлуатації виробів. Використання типових і уніфікованих проектних рішень призводить також до спрощення і прискорення проектування. Так, наприклад, типові елементи розробляються однократно, але в різних проектах застосовуються багатократно.

Однак уніфікація доцільна тільки в таких класах об'єктів, в котрих з порівняно невеликої кількості різновидів елементів необхідне проектування і виготовлення великої кількості різноманітних систем. Саме ці різновиди елементів і підлягають уніфікації. Для систем, що складаються з цих елементів (часто і для елементів, реалізуючих нові фізико–хімічні принципи чи технологічні можливості), в кожному конкретному випадку доводиться заново виконувати багаторівневе ієрархічне проектування. В цих умовах доцільно ставити питання не про уніфікацію виробів, а про уніфікацію засобів їх проектування і виготовлення, зокрема про уніфікацію проектних процедур в межах систем автоматизованого проектування (САПР). Наявність засобів автоматизованого проектування типових проектних процедур дозволяє оперативно створювати проекти нових виробів.

2.1.6. Види описів об'єктів проектування і класифікація їх параметрів

Кінцевий опис об'єкту проектування являє собою повний комплект схемної, конструкторської і технологічної документації, оформленої згідно з вимогами ЄСКД і призначеної для використання в процесі виготовлення і експлуатації цього об'єкту. Також згідно з вимогами ЄСКД оформлюють і деякі проміжні проектні рішення. Однак для проміжних рішень,

призначених для використання власне при проектуванні, характерні специфічні форми подання, прийняті в даній системі проектування. Важливе значення в цих описах мають математичні моделі об'єктів проектування, тому що при інженерному проектуванні виконання проектних процедур ґрунтується на оперуванні математичними моделями.

2.2. Типові проектні процедури

2.2.1. Класифікація типових проектних процедур (задач) проектування

Проектна процедура називається *типовою*, якщо вона призначена для багатократного застосування при проектуванні багатьох типів об'єктів. Класифікацію типових проектних процедур наведено на рис. 1.

Розрізняють проектні процедури аналізу і синтезу. Синтез полягає в створенні опису об'єкта, а аналіз – у визначенні властивостей і дослідженні працездатності об'єкта згідно з його описом, тобто при синтезі створюються, а при аналізі оцінюються проекти об'єктів.



Рис. 1 – Класифікація типових проектних процедур.

Процедури аналізу поділяють на процедури одно- і багатоваріантного аналізу.

При одноваріантному аналізі задані значення внутрішніх і зовнішніх параметрів, потрібно визначити значення вихідних параметрів об'єкту. В

САПР ця задача звичайно полягає в одноразовому розв'язуванні рівнянь, що складають математичну модель.

Багатоваріантний аналіз полягає у дослідженні властивостей об'єкту в деякій області простору внутрішніх параметрів. Такий аналіз потребує багаторазового розв'язування системи рівнянь математичних моделей системи. Процедури синтезу діляться на процедури структурного і параметричного синтезу.

Метою структурного синтезу є визначення структури об'єкту – перелік типів елементів, що складають об'єкт, і способів зв'язування елементів між собою у складі об'єкту. Наприклад, створення технологічної схеми в редакторі САПР.

Параметричний синтез полягає у визначенні числових значень параметрів елементів при заданих структурі і умовах працездатності на вихідні параметри об'єкту, тобто при параметричному синтезі потрібно знайти точку або область в просторі внутрішніх параметрів, в яких виконуються ті чи інші умови (звичайно це умови працездатності системи). Наприклад, визначити швидкість обертання ротора відцентрової насіннерушки, за якої досягається найбільший вихід безлушпинного соняшникового ядра – ціляка.

2.2.2. Типова послідовність проектних процедур

На рисунку 2 показано типову послідовність проектних процедур на одному з етапів низхідного проектування ($(i+1)$ -рівень).

На попередньому етапі розв'язуються задачі i -го ієрархічного рівня. Одним з результатів розв'язування цих задач при низхідному проектуванні є формулювання технічного завдання на проектування системи $(i+1)$ -рівня. Проектування системи починається із синтезу початкового варіанту її структури. Для оцінки цього варіанту створюється математична модель на основі експериментальних даних про об'єкт. Після вибору початкових значень параметрів елементів виконується аналіз варіанту, за результатами якого стає можливою його оцінка. Звичайно оцінка полягає у перевірці виконання умов працездатності системи, які сформульовані в технічному завданні. Якщо умови працездатності виконуються, то отримане проектне рішення системи $(i+1)$ -рівня документується, описується у певній формі і формулюється технічне завдання на проектування елементів системи наступного рівня. Якщо це отримане рішення незадовільне, то вибирається один із можливих шляхів покращення проекту.



Рис. 2 – Типова послідовність проектний процедур

Звичайно простіш за все змінювати числові значення внутрішніх параметрів елементів. Сукупність процедур модифікації множини внутрішніх параметрів, аналізу і оцінки результатів аналізу являє собою процедуру параметричного синтезу.

Якщо модифікації множини внутрішніх параметрів спрямовані на пошук найкращого значення деякого показника якості, то процедура параметричного синтезу є процедурою оптимізації. Коли шляхом параметричного синтезу не вдається отримати прийнятеного ступеню виконання умов працездатності, тоді використовують інший шлях, зв'язаний з модифікацією структури. Синтезується новий варіант структури і для нього повторюються процедури формування моделі і параметричного синтезу. Якщо і на цьому шляху не вдається отримати прийнятеного проектного рішення, то ставиться питання про коригування ТЗ, сформульованого на попередньому етапі (рівні) проектування. Таке коригування може вимагати повторного виконання низки процедур *i*-го ієрархічного рівня, що і обумовлює ітераційний характер проектування.

Рисунок 3 дозволяє відтворити характерну особливість взаємозв'язку проектних процедур аналізу і синтезу. Цей взаємозв'язок має характер вкладеність процедури аналізу в процедуру оптимізації (параметричного синтезу) і процедури оптимізації в процедуру синтезу, що об'єднує синтез структурний і параметричний. Вкладеність процедур показано на рис. 3.

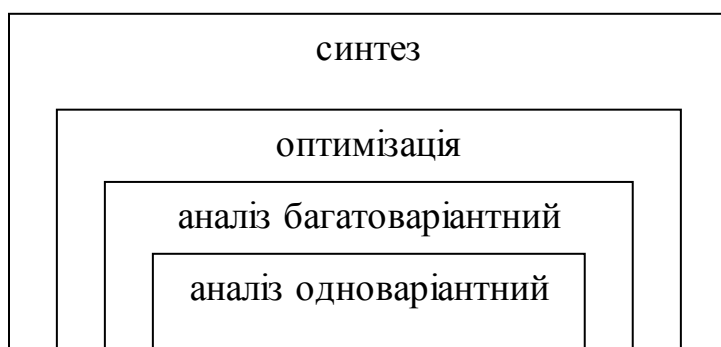


Рис. 3 – Вкладеність процедур аналізу і синтезу

Вкладеність означає, по–перше, що аналіз входить як складова частина в оптимізацію, а оптимізація – в синтез, по–друге, що одноразове виконання процедури оптимізації вимагає багаторазового виконання процедури аналізу, а одноразове розв'язування задачі синтезу – багаторазового розв'язування задачі оптимізації. Очевидно, такий же характер взаємодії мають процедури аналізу. Однократний багатоваріантний аналіз оснований на багатократному одноваріантному аналізі. Неважко підрахувати, що

синтез проектного рішення на черговому етапі проектування може вимагати виконання надмірно великої кількості варіантів аналізу.

Можна на прикладі підрахувати кількість аналізів, яку потрібно здійснити для синтезу об'єкта. Поставимо задачу.

Якщо увести коефіцієнт f_{ij} , що дорівнює кількості виконання процедури i , вкладеної в процедуру j , при однократному виконанні процедури j , а процедурам синтеза оптимізації, багатоваріантного і одноваріантного аналізу присудити номери відповідно 1, 2, 3, 4, то $f_{41}=f_{21} \cdot f_{32} \cdot f_{43}$.

Наприклад, при синтезі об'єкта переглядається f_{21} варіантів його структури, кожний варіант структури оптимізується з виконанням f_{32} кроків оптимізації, а кожен крок оптимізації полягає у оцінці об'єкта, що потребує f_{43} варіантів аналізу. Нехай $f_{21} = f_{32} = f_{43} = 40$. Тоді стає необхідним виконати $f_{41} = 6,4 \cdot 10^4$ варіантів аналізу, тобто стільки разів слід розв'язати рівняння математичної моделі об'єкта. Подібна задача може бути вирішена тільки з використанням потужних комп'ютерів.

Наведений приклад свідчить про велику трудомісткість проектування і про необхідність пошуку шляхів скорочення цієї трудомісткості. Розробка способів скорочення витрат часу, зусиль, обчислень і обчислювальних ресурсів – актуальна проблема автоматизованого проектування.

Маршрут проектування об'єкта – послідовність етапів і/або проектних процедур, що використовуються для проектування цього об'єкта. Маршрут називають типовим, якщо він застосовується при проектуванні багатьох об'єктів певного класу.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дайте визначення терміну «проектування»?
2. Що таке «базовий елемент»?
3. З чим пов'язаний «функціональний аспект», «конструкторський аспект», «технологічний аспект»?
4. Стадії, етапи, проектні процедури і операції проектування.
5. Перелічіть стадії науково-дослідних робіт.
6. Складові частини етапу проектування.
7. Що включає в себе «низхідне і висхідне» проектування?
8. Що включає в себе «зовнішнє і внутрішнє» проектування?
9. Що таке «типова проектна процедура»? Наведіть класифікацію.
10. Дайте визначення терміну «маршрут проектування об'єкта».

Розділ 3

ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ ХАРЧОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

3.1. Техніко-економічна частина проекту

Оцінка техніко-економічних показників (ТЕО) проекту здійснюється шляхом порівняння з показниками галузі і аналогів.

Техніко-економічна оцінка включає розрахунок основних техніко-економічних показників:

- річного випуску і вартості різних видів продукції;
- основних фондів підприємства;
- собівартості продукції;
- питомих капітальних вкладень;
- витрат на 1 грн. валової продукції;
- середньо-списочної чисельності працюючих і річного фонду заробітної платні;
- зведених витрат на виробництво;
- вартості одиниці сировини, основних і допоміжних матеріалів;
- витрат на утримання будівель і обладнання;
- витрат на енергоресурси, транспорт;
- прибутку;
- рентабельності;
- строків окупності тощо.

Основна мета ТЕО – виявлення економічної ефективності рішень, що прийняті у проектах підприємств харчової галузі у порівнянні з техніко-економічними показниками кращих проектів-аналогів. Для приведення аналогів в умови для співставлення виконується розрахунок показників аналога по цінам на валову і товарну продукцію, сировину, допоміжні матеріали, енерговитрати.

Для вибору оптимального варіанту проектного рішення потрібні початкові дані від таких частин проекту харчового підприємства:

1. Генеральний план, транспорт і відновлення зруйнованих земель.
2. Технологія виробництва і захист довкілля.
3. Контрольно-вимірювальні прилади і автоматизація технологічних процесів.
4. Електротехнічна частина.
5. Будівельна частина.
6. Енергетичні установки і теплові мережі.
7. Сантехнічна частина.
8. Кошторисна частина.

3.2. Частина проекту "Генеральний план і транспорт"

Проектування генпланів і транспорту підприємств харчової промисловості здійснюється у такій послідовності:

отримують завдання на проектування генплану і транспорту від технологічних відділів інституту у вигляді технологічних схем генплану і окремих об'єктів заводу;

розробляють варіанти схем генплану і транспорту на основі вивчення технології виробництва, технологічних і архітектурно–планувальних завдань, завдань будівельних відділів, топографічного знімання, кліматичних даних, даних інженерно–геологічних досліджень та інших місцевих умов;

аналізують варіанти на технологічних радах головних провідних спеціалістів інституту, відбирають варіанти, які найбільше задовольняють заздалегідь зазначеним вимогам та вибирають декілька (1 – 3) варіанти для доопрацювання;

доопрацьовують варіанти за умов постійного контакту і консультацій у робочому порядку з технологічним, будівельним та іншими відділами інституту з метою покращення технологічних і транспортних зв'язків, скорочення площ заводу;

видають заготовки учасникам проектування для коригування і розкладки мереж;

розробляють проект вертикального планування і підраховують обсяги земельних робіт;

закінчують проектування генплану і узгоджують його з усіма відділами;

відділи, які проектують зовнішні мережі, передають відділу генплану попередні креслення розкладки мереж і випускають узгоджений зведений план мереж;

складають пояснювальну записку, підраховують обсяги робіт і передають кошторисному відділу.

Генеральний план і транспорт проектується в три етапи: техніко–економічне обґрунтування, технічний проект, робочий проект.

До номенклатури техніко–економічних показників об'єкту підсистеми входять: площа території (в га); площа забудівлі будинків і споруд (в га); автодороги (в км) і площадки (в м²); залізничні шляхи (в м/м²); тротуари і велодоріжки (в м/м²); вільні території та території під озеленення (в га); відсоток використання території.

На структурних схемах проектування генплану (рис.4, 5, 6) показано, з яких частин він складається і що входить до кожної його частини для усіх підприємств харчової галузі.

В таблицях 2–4 наведено перелік робіт, які виконуються на етапах проектування генерального плану і транспорту.

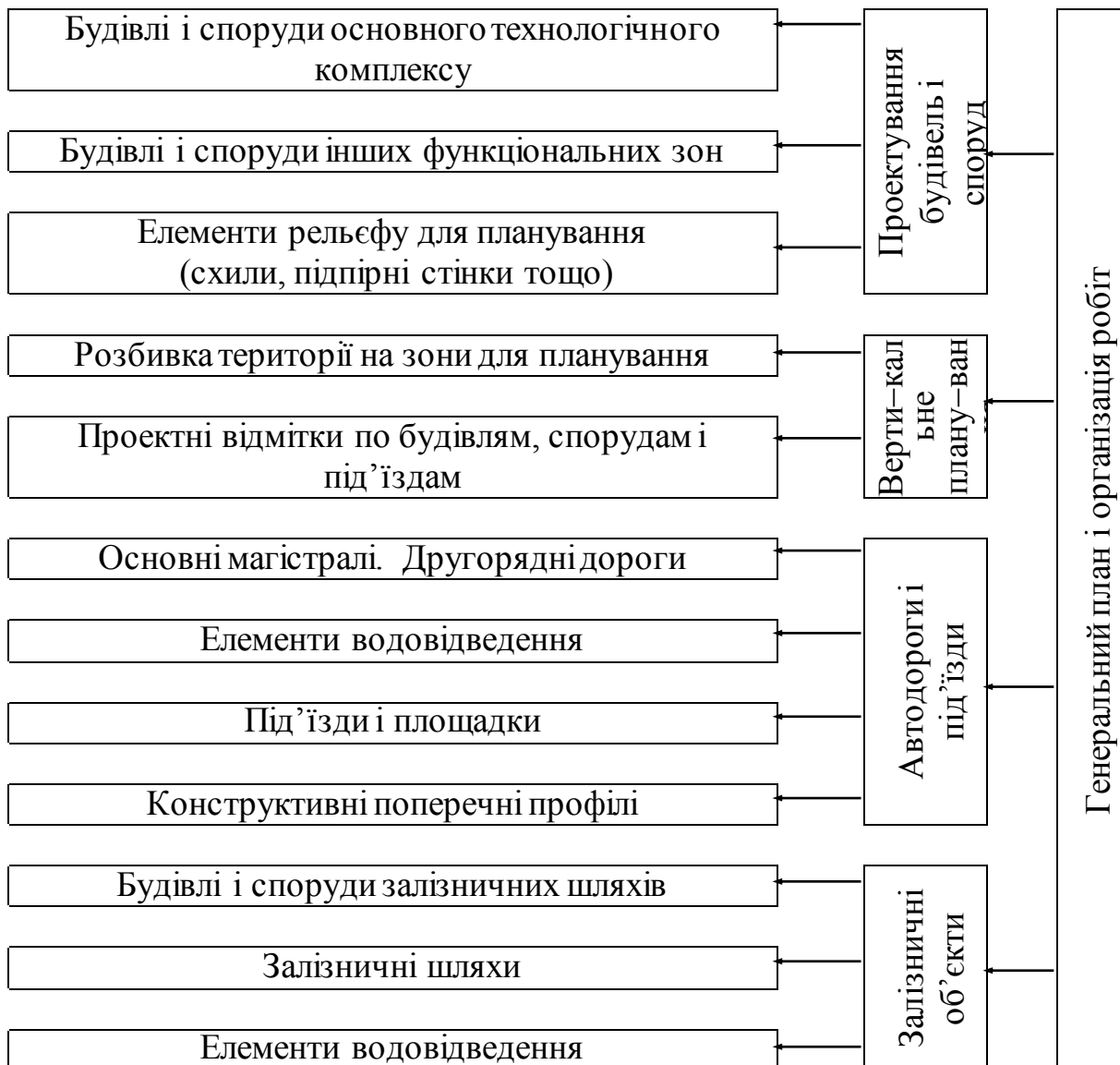


Рис. 4 – Структурна схема проектування генпланів

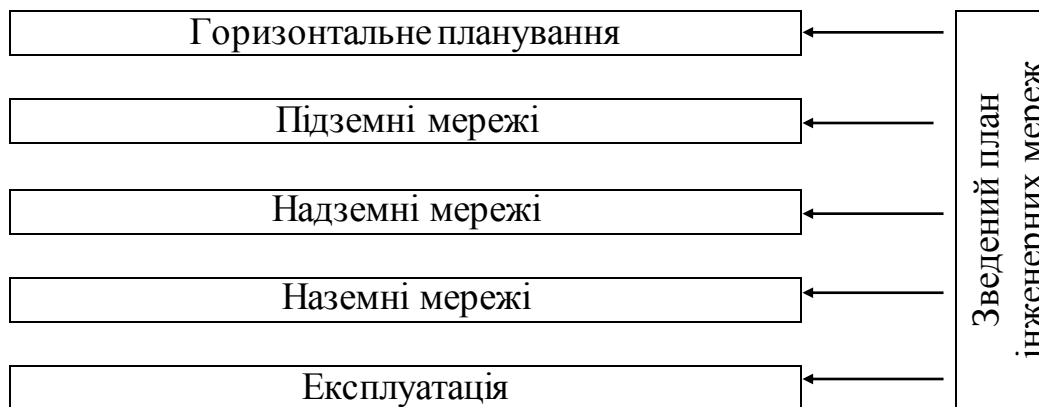


Рис. 5 – Структурна схема складання зведеного плану інженерних мереж

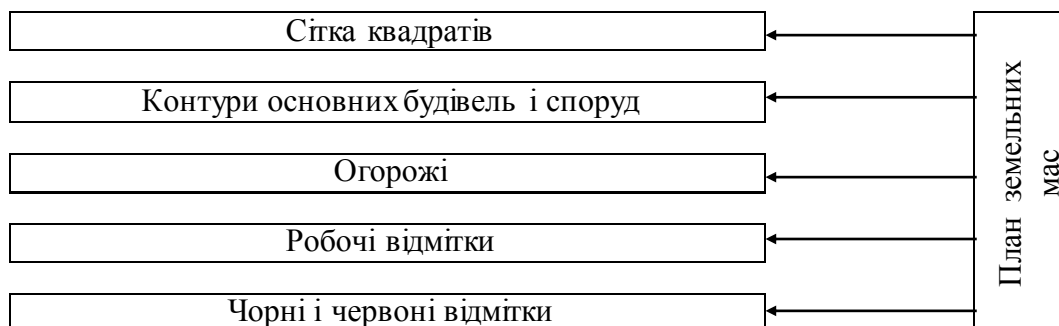


Рис. 6 – Структурна схема складання зведеного плану земельних мас

Таблиця 2 – Етап техніко–економічного обґрунтування

Робота з інформацією	Підбір і підготовка додаткових матеріалів	Основні попередні рішення і компоновка	Видача попередніх завдань, робота зі суміжними відділами і випуск проекту
Аналіз завдання на проектування	Пошук проектів–аналогів Пошук наявних звітів про науково–дослідні роботи	Формування цілей і напрямку пошуку Розбивка підприємства на зони з попередньою орієнтацією зон	Аналіз пропозицій суміжних підсистем Складання завдання на оптимізацію генплану
Виявлення характерного фактора	Розробка першої редакції технічних умов (ТУ)	Складання ескізів генплану Перевірка сумісності генплану з технологічною схемою Складання попередніх варіантів схем генплану та їх оцінка Вирішення основних питань висотного планування Доопрацювання і складання генплану	Вибір схеми генплану на основі техніко–економічного аналізу і порівнянні варіантів Узгодженні зі суміжними підсистемами Видача завдання кошторисному відділу Випуск генплану техніко–економічного обґрунтування

Таблиця 3 – Етап технічного проекту

Робота з інформацією	Підбір і підготовка додаткових матеріалів	Основні попередні рішення і компоновка	Видача попередніх завдань, робота зі суміжними відділами
Аналіз зауважень експертизи	Редагування технічних умов	Складання попереднього генплану	Узгодженні зі суміжними підсистемами
Уточнення вихідних даних і завдання	Аналіз матеріалів отриманих з відділу науково-технічної інформації Аналіз завдань від усіх підсистем Аналіз завдань НДР	Складання комплексу перших проміжних креслень генплану	Коригування і випуск перших проміжних креслень генплану

Таблиця 4 – Етап робочого проекту

Робота з інформацією	Підбір і підготовка додаткових матеріалів	Основні попередні рішення і компоновка	Видача попередніх завдань, робота зі суміжними відділами і випуск проекту
Аналіз зауважень експертизи Отримання кінцевого завдання на проектування Нанесення топографічних матеріалів	Складання завдання на пошук аналогів типових проектів інженерних споруд генплану Внесення коректив в габарити будівель і споруд	Уточнення перших проміжних креслень Розробка мережі залізничних колій (схема) Організація рельєфу площадки Виготовлення копій проміжних креслень	Узгодження з усіма підсистемами Узгодження зі суміжними підсистемами Детальна розробка мережі автодоріг Детальна розробка мережі залізничних колій Детальна організація рельєфу окремих планувальних зон Складання загальних даних Розробка генплану Складання зведеного плану інженерних мереж Складання плану земельних мас Розробка плану благоустрою Контроль і випуск комплексу робочих креслень генплану

3.3. Частина проекту "Технологія виробництва і захист довкілля"

Частина проекту "Технологія виробництва і захист довкілля" містить наступні розділи: інформаційний пошук; пояснювальна записка; технологічна схема; розрахунок потреби у складських приміщеннях; компоновка технологічного обладнання; установочні креслення; розводка технологічних трубопроводів; техномонтажні відомості на ізолювання технологічного обладнання і трубопроводів; схема пневмотранспорту; розробка нестандартного обладнання; специфікації замовлення; перелік креслень; захист довкілля.

Основними частинами процесу технологічного проектування є розрахунки, підготовка і виконання проектної документації (таблиць, креслень, пояснювальної записки), підготовка завдань суміжним відділам. Найбільше часу витрачається на видачу завдань суміжним відділам і узгодження технічних рішень, що займають інтереси різних відділів.

Фрагмент "Інформаційний пошук" включає пошук технологічних норм, керівних матеріалів, конструкторських норм, аналогів технологічних схем, що використовуються при синтезі технологічних схем, типових рішень, аналогів компоновочних рішень, рішень з установки технологічного обладнання і розводки трубопроводів по окремим технологічним операціям і процесам тощо.

Пояснювальна записка містить: розрахунок випуску готової продукції; розрахунок потреби у сировині, допоміжних матеріалах, тарі; розрахунок продуктів і відходів виробництв; вибір режиму роботи підприємства та його підрозділів; визначення численності персоналу; визначення витрат енергоресурсів (води, пари, електроенергії, холоду, стиснутого повітря і стиснутої вуглекислоти); розрахунок вантажообігу; розрахунок числа електро- і автотранспорту, рівня механізації трудомістких процесів.

У пояснювальній записці наводиться характеристика стічним водам і викидам в атмосферу.

Фрагмент "Технологічна схема" складається з синтезу принципової технологічної схеми, розрахунку техніко-економічних показників за різних варіантів вибору технологічного обладнання, аналізу і вибору кінцевого варіанту технологічного обладнання. До складу фрагменту також входить вибір піднімально-транспортного обладнання і визначення потреби в нетиповому нестандартному обладнанні.

Фрагмент "Розрахунок потреби в складських приміщеннях" включає наступний перелік робіт: розрахунок площ, необхідних для зберігання готової продукції і напівфабрикатів, сировини, допоміжних матеріалів, тари, відходів та інших матеріалів з виводом результативних таблиць. Ці

таблиці входять до пояснювальної записки і слугують підставою для компоновки складських приміщень, що стоять окремо або об'єднаних з виробничими корпусами.

Фрагмент "Компоновка технологічного обладнання" включає прийняття компоновочного рішення, що є результатом виконання комплексної програми проєктувальників різних спеціальностей. Цей фрагмент інформаційно зв'язаний з фрагментами "Технологічна схема", "Розрахунок потреби в складських приміщеннях", "Інформаційний пошук".

Фрагмент "Установочні креслення" включає підбір і розробку креслень з окремих операцій технологічної схеми.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. *Що включає в себе «техніко-економічна частина проєкту»?*
2. *Що входить до частини проєкту «Генеральний план і транспорт»?*
3. *Складові етапу техніко–економічного обґрунтування.*
4. *Складові етапу технічного проєкту.*
5. *Складові етапу робочого проєкту.*
6. *Що входить до частини проєкту «Технологія виробництва і захист довкілля»?*

ЧАСТИНА 2. ІНЖЕНЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

ВСТУП

Технологічний потік на харчових заводах і комбінатах реалізується в лінії, яка складена з машин, апаратів і агрегатів, узгоджених за продуктивністю і зв'язаних між собою складною структурою транспортуючих пристроїв. До того ж промисловий досвід експлуатації в галузі складає 50–70 років. За цей час технологічні лінії набули багатьох змін: уведено елементи автоматизації, здійснено заміну одиниць обладнання, зроблено реконструкцію і модернізацію виробництв, виконані заміни чи зміни деяких елементів обладнання; здійснено заміну допоміжних матеріалів тощо. В результаті цих дій значно знизився контроль за виробничим процесом завдяки ускладненню його структури і технології. Усе це призводить до збільшення кількості відходів і втрат на виробництві, складності автоматизації, нестабільності якості продукції та ін.

Крім цього виникає велика кількість малих підприємств. У погоні за прибутком вони самі розробляють нові, або корегують існуючі рецептури і технології традиційних продуктів, які користуються підвищеним попитом на ринку. Усі їхні дії призводять до випуску низьковитратної продукції, яка лише найменуванням нагадує основну. Для цієї мети використовують нестандартне обладнання, яке випускається підприємствами машинобудування і не достатньо узгоджується між собою, що призводить до низькоякісного виконання технологічних операцій (змішування, подрібнення, сушіння, фільтрування тощо).

Тому й виникла ситуація: щоб ефективно виробляти високоякісну продукцію на маловитратних технологічних лініях, до того ж таких, що мають стабільну якість, високий рівень автоматизації, малу кількість обслуговуючого персоналу, необхідно установлювати технологічні лінії, які саме і мають вище перелічені характеристики.

Поряд з цим залишається досить велика кількість вітчизняних виробництв, досить складних за технічною, технологічною і організаційною структурою та таких, що потребують невідкритої модернізації чи реконструкції, щоб досягти певною мірою указаних характеристик.

Стає очевидним, що на харчову промисловість сьогодні не можна дивитися, як на суму окремих технологічних процесів, так як кожний окремий агрегат, що працює в складі лінії, має безпосередній вплив на роботу інших машин і апаратів. Тому удосконалення виробництв потребує аналізу усього комплексу процесів в технологічній лінії, як системи.

Додатковим фактором у ситуації, яка склалася в харчовій промисловості, є достатньо серйозна насиченість підприємств і науково–дослідних установ галузі засобами обчислювальної техніки, більшість з яких використовується на 10 % від їх потужності. Тобто не лише «революційна ситуація», коли в силу історичних закономірностей припиняють задовільно працювати виробництва, обумовлюючи суспільну потребу у створенні нових і розвитку існуючих підходів до проектування, дослідження, управління і удосконалення (виробництв) технологічних ліній.

Отже, виникла необхідність створення і розвитку нової методології, яка б урахувала усі характеристики технологічного процесу, його цілісність, і давала можливість вирішувати найважливіші проблеми галузі зі стабілізації високої якості продукції у поєднанні з енерго– і ресурсозбереженням.

На фоні інформатизації суспільства, широкого розповсюдження комп'ютерної техніки набув розвитку системний підхід, який, у свою чергу, як раз і орієнтує на пошук об'єднуючих властивостей цілого, вимагає урахування взаємозв'язку його частин і дозволяє таким чином звести різноманітні задачі пізнання частин до єдиної комплексної проблеми, намітити генеральну лінію її вирішення і тим самим розв'язати задачу принципової зміни цілого.

Теорія систем, що лежить в основі системного підходу – це міждисциплінарна область наукових досліджень, що ставить своєю задачею виявлення і теоретичний опис закономірностей будови, функціонування і розвитку систем.

Уперше як самостійний науковий напрямок теорія систем була заснована в 40–х роках минулого (20–го) століття. У нашій країні і за кордоном здійснюється велика робота в області дослідження закономірностей утворення систем. В різноманітних сферах людської діяльності розробляється цілісний підхід до об'єктів, процесів і явищ, що являють собою органічне поєднання елементів різноманітної природи.

Наукова розробка системного підходу має складний, а іноді і суперечний характер. До цих пір теорія систем ще не має належної термінології, свого математичного апарату, методів експериментального дослідження.

Суть системного аналізу визначається його стратегією, в основі якої лежать наступні загальні принципи, які можуть бути застосовані до розв'язування будь–якої системної задачі:

- чітке формулювання мети дослідження;
- постановка задачі стосовно реалізації цієї мети і визначення критерію ефективності;

- пропорційно–послідовне переміщення по усьому комплексу взаємозв'язаних етапів і можливих напрямків;
- принцип низхідної ієрархії аналізу і висхідної ієрархії синтезу в розв'язування складових часток задач.

Системний підхід у проектуванні розширює поле бачення проблеми, бо технологічну задачу для частини вирішують з урахуванням цілого. Я.Дітріх, один з основників інженерного проектування, що базується на системному аналізі, противник локального частинного підходу до вирішення задачі, замикання у візькій, обмеженій сфері. Д.Уайлд також стверджує, що інженери–проектувальники, які працюють традиційними методами, знаходять оптимальне рішення “інтуїтивним шляхом”, тобто неусвідомленою оптимізацією, коли цільова функція досить очевидна.

Сучасні проблеми удосконалення технологічних процесів харчових виробництв, на думку А.Г.Сабурова і В.В.Ключкіна, полягають у вирішенні комплексу взаємозв'язаних окремих задач, до яких відносяться: дослідження і урахування властивостей продуктів, обґрунтування оптимального режиму процесу, апаратурне оформлення, орієнтоване на обладнання контрольної–вимірювальної технікою і системами автоматичного регулювання і управління.

Радикальне удосконалення процесів харчової промисловості не можливе без крупних поглиблених досліджень, що спираються на конкретну методологію, яка урахує сучасний рівень вивчення технологічних процесів – рівень наукової і прикладної проблематики. І для вирішення широкого спектру задач удосконалення технологічних процесів плідотворним може бути тільки системний аналіз.

Поряд з цим щодо удосконалення технологічних систем існує задача підвищення техніко–економічного рівня і якості проектів завдяки створенню принципово нової технології, яка передбачає багатоваріантну проробку рішень і вибір з них оптимального. У цьому випадку постає необхідність у використанні обчислювальної техніки і розробці систем автоматизованого проектування.

Насправді комп'ютерна розробка проектів харчових підприємств на думку В.Артеменко здійснюється зараз за двома напрямками. Перший передбачає виконання на ПК найбільш трудомістких нетворчих операцій розрахункового характеру, пошук інформації й виготовлення документації. Він дещо забезпечує скорочення коштів і часу на проектування, поліпшує якість проектної документації і умови праці. Другий напрямок передбачає аналіз багатьох можливих проектних рішень і вибір найкращого.

Під час реалізації першого напрямку (до 1990 року) створювали бази даних, а також окремі програмні засоби й пакети прикладних програм для різних розрахунків, друкування текстової та графічної документації. З цією

метою використовували великі ПК типу ЕС 1035, 1045, 1061, де програми обчислювали у пакетному режимі. На цій основі робили спроби розробки системи автоматизованого проектування галузевого значення.

Під час реалізації другого напрямку (після 1990 року) здійснюється переоснащення проектних організацій персональними комп'ютерами типу IBM PC. На їх основі створюються локальні мережі ПК, локальні бази даних і САПР другого покоління, використовуються програмні середовища вищого рівня.

Вітчизняна та закордонна практика виявила неминучість поетапної автоматизації проектних робіт. Якщо на першому етапі проектувальник використовував окремі програми чи пакети прикладних програм для розв'язування задач розрахункового характеру, то на другому етапі – створює САПР з локальними базами даних і наборами прикладних програм. На третьому етапі повинні розроблятися інтегровані САПР з загальною інформаційною базою даних, що програмно суміщується з програмними комплексами, націленими на вирішення складних проектних задач з використанням ПК.

Зараз автоматизація проектування харчових підприємств знаходиться на другому етапі. А, щоб перейти на використання САПР третього рівня потрібно, як вважає академік В.І.Тужилкін, притягнути увагу вчених, що займаються інформаційними проблемами і технологіями, до необхідності серйозного концентрування зусиль на розробці фундаментальних і прикладних проектів, основною метою яких є створення високих інформаційних технологій на основі системно–динамічного моделювання.

Такої ж думки дотримується і В.А.Панфілов, що створення високоефективних технологічних ліній можливе лише за нового стилю мислення, методологічну основу якого складає системний підхід до проблеми розвитку харчових виробництв. Серед задач, які потрібно для цього вирішити є такі, як:

- розробити теоретичні основи проектування високоефективних технологій переробки сільськогосподарської сировини;
 - створити динамічні моделі технологічних потоків;
 - розробити методи проектування нової техніки на основі її блочно–модульного будування;
 - створити банк технологічних і технічних характеристик процесів, машин, апаратів, комплектного обладнання для використання обчислювальної техніки при компоновці ліній;
- та ряд інших важливих задач.

Ці концептуальні погляди В.А. Панфілова базуються на глибокому теоретичному опрацюванні методології системного підходу до

удосконалення існуючих і розробки нових технологічних ліній харчових виробництв.

Окрім викладення методологічної суті і значення системного підходу автор пропонує метод системного аналізу механізованих поточних ліній харчових виробництв. Цей метод включає типову послідовність операцій, які виконує проєктувальник під час вирішення задач у межах системного дослідження технологічних ліній: аналіз проблемних ситуацій, синтез рішень, оцінка та вибір альтернатив, моделювання, коригування, реалізація. За запропонованою у цій праці методикою спочатку розробляється граф цілей і задач на основі попередньо виділених автономних технологічних цілей всередині виробничого процесу. Цим самим вирисовується структура системи і виділяються підсистеми. Потім, за допомогою умовних позначень процесів всередині підсистем зображуються оператори. При цьому залишається осторонь машинно–апаратне оформлення, оскільки технологічний процес принципово може бути реалізований різними технічними засобами. Далі оператори з'єднуються матеріальними потоками. Таким чином будується частина технологічної системи, яка може бути керована.

Зображення технологічних систем у вигляді операторних моделей припускає дослідження їх як бази для:

- розгляду процесу у лінії як єдиного процесу виробництва з метою його скорочення;
- нового машинно–апаратного оформлення процесів у лінії;
- виділення блоків, які можуть бути описані математичною мовою з метою оптимізації і автоматизації;
- прогнозування якості технологічних систем.

Під час дослідження режимів роботи поточних ліній використовується математичне моделювання як складових частин системи, так і системи в цілому. При цьому автор рекомендує використовувати обидва зформованих напрямки математичного моделювання технологічних процесів: теоретичний і статистичний. До цього ж, статистичний – на етапі дослідження у межах елемента (мікродослідження), тобто за умов більш глибокого вивчення процесу. З метою формування критерія оптимізації системи і визначення перспективних напрямків оптимізації автор пропонує робити оцінку ефективності функціонування технологічної системи шляхом визначення деякого показника ефективності як кількісної характеристики оцінки якості продукції.

Вищевикладений метод системного аналізу технологічних ліній з успіхом був застосований для оптимізації технологічних систем маргаринового виробництва.

Але вперше зроблено спробу систематизувати методи моделювання, аналізу і оптимізації хімічних виробництв на основі використання їх топологічних моделей на ПК, а також розглянути інші методи математичного моделювання складних хіміко–технологічних систем групою учених під керівництвом академіка В.В. Кафарова. У цій праці наведено методологію дослідження хіміко–технологічних систем, за якою розроблений на основі аналізу топологічних властивостей циклічних потокових графів алгоритм розрахунку матеріальних і теплових балансів системи формалізує процес створення і визначення оптимальної стратегії розв’язання систем рівнянь балансів і надає можливість автоматизувати виконання цих операцій з застосуванням ПК.

Системний аналіз процесів хімічної технології, розвинутий в подальших працях академіка В.В.Кафарова, є потужним і всеохоплюючим інструментом, який дозволяє на фундаментальній науковій основі удосконалювати існуючі і створювати нові технологічні процеси, технологічні системи, методи їх розрахунку і оптимізації, а також системи автоматизованого проектування.

Надалі принципи моделювання і оптимізації складних технологічних систем були розвинуті і у харчовій промисловості. Ці принципи системного аналізу, що націлені на інтенсифікацію процесів дослідження, удосконалення і управління у харчовій технології з застосуванням ПК основані на формалізації виробничих процесів, тобто вони представлені у вигляді математичних моделей різних рівнів складності, точності, універсальності і надійності. До того ж, у більшості випадків, спеціалісти орієнтувались на вузькоцільові системи моделювання, які вирішували конкретні задачі, й використовували типову схему комплексу робіт зі створення таких систем. Аналіз і синтез складних установок оснований на методах математичного моделювання з урахуванням ієрархічної структури складних систем і модульних принципів складання моделей.

Так, розглянуті деякі особливості моделювання складних технологічних систем у харчовій промисловості на прикладі гранулюючої установки для сипких продуктів. Для одного технологічного процесу автор вирішував дві окремі задачі: оптимізацію технологічного процесу і визначення оптимальних конструкторських параметрів подрібнювачів. При дослідженні процесів функціонування установки була розроблена операторна схема, за допомогою якої у системі ураховувалися її топологічні особливості. Далі, використовуючи основні методологічні принципи аналізу і синтезу хіміко–технологічних систем, виявлені суттєві властивості окремих елементів, що впливають на показники системи вцілому та які дозволяють спростити вибір оптимальних рішень. При цьому, процедура вибору така:

- визначення вхідних і вихідних параметрів системи;
- вибір показника якості системи;
- визначення управляючих дій на систему;
- установлення математичних зв'язків між показниками якості і управляючими діями;
- вибір оптимальних режимів і визначення стійкості у оптимальній області.

Математичні моделі процесів визначені послідовністю етапів функціональної або операторної схеми. Обчислювальні процедури для розрахунку моделей, які зроблені з використанням ПК також виконані у відповідності з операторною схемою. При цьому на кожному етапі робилася перевірка щодо прийнятих критеріїв оптимальності. Далі на основі якісного аналізу сукупності взаємозв'язаних процесів як систем проводився якісний аналіз складної установки. Цю задачу автор відносить до синтезу системи управління складних технологічних систем.

Однією з перших праць у харчовій промисловості, присвячених розробці і застосуванню математичного моделювання і синтезу оптимальних структур процесів складної технологічної системи, є праця з удосконалення процесів концентрування розчинів з нелетким залишком на прикладі кінцевої достіялції місцели бавовняної олії. За основу системи автори прийняли технологічну схему концентрування розчину інертним газом. Розділивши її на підсистеми, вони побудували ієрархічну структуру процесу, складену з п'яти ступенів. До того ж ця структура обіймає усі способи концентрування розчинів. До першого ієрархічного ступеню входять процеси, що відбуваються на молекулярному рівні; в другий – в ансамблях часток; в третій – в окремих фазах; в четвертий – в елементах установки. П'ятий ступінь являє собою систему, що характеризує увесь процес концентрування. На кожному ієрархічному ступені шляхом порівнювальної оцінки вагомості елементів процесу приймалися рішення щодо визначення структури математичного опису. Повна математична модель процесу складається з комбінацій математичних описів процесів і явищ, що відбуваються в елементах установки. Алгоритмізація обчислювальної процедури повної математичної моделі процесу виконувалась після розгляду методологічних питань обміркованої комбінації математичних описів елементів процесів і явищ з метою одержання найбільш спрощеної з точки зору розв'язування і достатньо точної моделі. Блок–схема обчислення математичної моделі процесу побудована у відповідності зі структурно–параметричною схемою установки. Оптимальне проходження процесу у цьому випадку виявлено шляхом розгляду сукупностей апаратів схеми. Для цього, за критерій оптимальності автори приймали питому вартість витрат на проведення

процесу. Після обчислення повної моделі на ПК і оптимізації робили аналіз цільової функції з метою визначення рекомендацій щодо апаратурного оформлення процесу.

Аналогічний, але дещо більш розширений, системний аналіз технології виробництва бавовняної олії з метою синтезу нових оптимальних технологічних схем застосовано шляхом розробки методичних основ спрямованого удосконалення технології виробництва рослинних олій, що полягають у вирішенні задачі синтезу оптимальної технологічної схеми на основі її поетапного аналізу, що включає декомпозицію схеми на функціональні підсистеми з подальшим аналізом останніх. Поряд з загальним критерієм оптимальності, за який було узято прибуток технологічної системи та собівартість продукції (технологічні витрати), кожна підсистема має свій локальний критерій і свою задачу синтезу оптимальної підсистеми.

Синтез оптимальної структури технологічної схеми проведений шляхом визначення складових частин цільової функції на основі обчислення статистичних математичних моделей технологічних процесів на ПК. Ця робота має продовження.

Ще однією працею в області удосконалення харчових виробництв, що відрізняється достатньою глибиною системного аналізу процесу, є праця присвячена математичному моделюванню рафінації жирів. У цій праці автори розвинули підхід, який створює передумови для розробки науково–обґрунтованих практичних рекомендацій з удосконалення технології як на різних етапах технологічного процесу, так і у комплексі. Посилаючись на труднощі, пов'язані з суттєвими варіаціями динаміки функціонування окремих підсистем рафінаційного процесу, що ускладнюють процес розробки адекватних математичних моделей, зв'язків між проміжними входами системи і загальним виходом, автори приходять до висновку щодо доречності застосування методу декомпозиції системи. У результаті система представляється як сукупність певним чином поєднаних типових процесів або ланок, кожна з яких має більш–менш стандартний математичний опис. Аналіз кожної із ланок системи проводиться незалежно одна від іншої. Зокрема, у відповідність до кожної стадії поставлений локальний критерій оптимізації. Кожна стадія процесу рафінації охарактеризована певним набором вхідних, вихідних і управляючих перемінних, а також з достатньою визначеністю сформульовані вимоги до проміжних вихідних характеристик. Глобальна оптимізація рафінаційного процесу зводиться до реалізації послідовності окремих оптимізаційних алгоритмів і прямої оптимізації процесу. Таким чином, автори розв'язували задачу локального моделювання і оптимізації для кожної окремої стадії рафінаційного процесу, використовуючи для

розробки оптимізаційних алгоритмів детерміновану основу, що утримує статистичний елемент.

Знизити витрати у видобуванні рослинної олії екстракційним способом можна тільки шляхом удосконалення технологічної схеми, тобто проведенням синтезу структури схеми, і оптимізації технологічного режиму, – так стверджують автори, які вважають, що нова технологія зараз створюється на основі евристичних принципів. Тому великого значення у цей час набула проблема розвитку методів аналізу технологічних схем, що базуються, головним чином, на порівнянні альтернативних варіантів з використанням економічного і ексергетичного критеріїв. Суттєвим недоліком таких методів є неможливість виключити вплив на результат характеристик застосованого в схемі обладнання, а задача синтезу оптимальних технологічних схем до цього часу ще не була формалізована.

Заслуговує уваги ряд праць В.Г. Вайнера у області створення САПР хімічних виробництв. З позицій системного підходу розглянуті різні проектні процедури створення хімічних апаратів методами САПР, та їх компоновки на виробничих площадках у складі діалогової системи “ДІСК”. Далі роботи зі створення САПР хімічних виробництв набули розвитку у межах вирішення ряду оптимізаційних задач в автоматизованих системах управління ліквідацій наслідків аварій на хімічних виробництвах. Автором розроблено комплекс цікавих та корисних алгоритмів і програм з оптимального гідравлічного розрахунку мережі трубопроводів і насосів, компоновки і з’єднання об’єктів хіміко–технологічної системи; визначення структури зв’язуючої мережі; оптимального розміщення вузлів і об’єктів у площині (для генеральних планів) і у просторі (для компоновки обладнання всередині промислової будівлі); побудови зв’язуючого дерева і оптимізації розміщення вузлів мережі. Усі ці алгоритми були реалізовані на великих ПК типу “Минск–32”, М220, ЕС–1022. Очевидно, що задачі такого плану лише частково вирішують проблему, пов’язану з удосконаленням технологічних об’єктів як хімічних так і харчових виробництв.

З аналізу вищевикладеного витікає, що у ряді крупних досліджень останнього часу, присвячених задачам у області технологій харчових і хімічних виробництв, застосування системного аналізу дозволило авторам здійснити декомпозицію складних об’єктів, поставити конкретні задачі на рівні структурної ієрархії, визначити необхідні методи дослідження, розробити математичні моделі процесів. Вцілому з цих праць випливає, що вигляд методології системного аналізу може бути різним:

- за ієрархічним принципом;
- з використанням структурних схем;
- з розробкою операторних моделей;
- та ін.

З одного боку, це свідчить про безперервний творчий розвиток системного підходу, а з іншого – про те, що системний підхід є достатньо гнучким методом наукового дослідження, і тому у кожному окремому випадку потрібне обґрунтоване його застосування.

Окрім цього, з літературного огляду можна бачити наявний відхід від традиційних методів роботи професійного дослідника–проектувальника технологічних систем харчових виробництв. Для застосування вищеписаних методів потрібні додаткові знання і навички формалізації топологічної структури технологічних схем. А за умов відсутності топологічної моделі схеми у пам'яті ПК, застосування системного підходу до дослідження й удосконалення технологічних процесів значно ускладнюється і врешті решт зводиться до вирішення сукупності задач локального характеру. До того ж у переважній більшості випадків автори застосовують статистичні математичні моделі як окремих процесів, так і системи вцілому, а також пропонують досить жорстку методику, якої потрібно дотримуватися при проектуванні чи удосконаленні технологічних систем. І як наслідок, зникає головна перевага систем автоматизованого проектування – надання умов для активізації творчого мислення інженера–проектувальника.

До цього часу системний підхід до удосконалення процесів в технології жирів не знайшов розповсюдження. Виходячи з досвіду попередників, щоб розробити та застосувати нову технологію проектування потрібно вирішити наступні задачі:

- 1) розробити формалізований опис технологічної системи;
- 2) формалізувати структурний синтез технологічної схеми;
- 3) розробити математичні моделі фізико–хімічних процесів в елементах системи;
- 4) реалізувати моделі у пакеті прикладних програм на ПК;
- 5) дослідити процеси в елементах системи;
- 6) дослідити побічні процеси.

Слід відзначити, що не дивлячись на наявність досить крупних теоретичних праць у цій області, системні дослідження не отримали широкого розповсюдження з причин, по–перше, суб'єктивного характеру і, по–друге, відсутності методології таких досліджень.

Розділ 4

ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО СИСТЕМИ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

4.1. Система та її елементи

Системою називають упорядковану певним чином множину різнорідних елементів (не менше 2), взаємозв'язаних між собою і утворюючих деяку єдність, властивості якої більші за суму властивостей елементів, що її складають.

Поняттю системи протиставляють поняття "хаос". Хаотичною називають множину елементів $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i, \dots, \varepsilon_n$, в якій при зміні стану елемента ε_i можуть відбутися усі можливі зміни в елементах ε_j і ε_k чи ін., причому така незалежність станів елементів характерна для усієї множини. Якщо стан елемента ε_i певним чином обмежує можливі стани інших елементів ε_j і ε_k і т.ін., то можна стверджувати, що між ε_i і ε_j , та між ε_i і ε_k і т.ін. існує певний зв'язок. Такі множини, в яких спостерігається певна взаємодія між елементами, є системи.

Як правило, залежно від зв'язку між станом елементів системи називають детермінованими і стохастичними.

У перших зв'язок між станом елементів системи однозначний і наперед визначений; у других – зв'язок носить вірогідний характер.

Елементами називають об'єкти, які у сукупності утворюють систему. При цьому вважають, що елемент у межах збереження певної якості системи далі неподільний. Однак неподільність елемента відносна: сам елемент являє систему і у свою чергу також складається із елементів. Поза системою елемент, як такий, не існує. Розділення системи на елементи взагалі відносне і умовне. Елементи виділяють, виходячи з логічних передумов і практичної доцільності таким чином, щоб вони мали внутрішню структуру і являли утворення, що характеризуються більш високою стійкістю, ніж уся система в цілому.

Елементи системи утворюють групи. Зв'язок між елементами всередині цих груп відрізняється від характеру зв'язку між самими групами, тобто всередині системи утворюються підсистеми. Поняття "підсистеми" означає, що деяка частина системи повинна мати її властивості. Саме цим підсистема відрізняється від групи елементів, для яких не сформульована мета.

Відповідно до прийнятої трактовки розподіл системи на підсистеми являє собою розділення великого процесу на підпроцеси з відповідними входами і виходами. Будь-який вхід даного підпроцесу – це вихід попереднього, а вихід даного підпроцесу – це вхід наступного, тобто усі процеси взаємозв'язані.

4.1.1. Характеристики систем

Досить зручно розглядати системи за чотирма характеристиками, а саме:

- за призначенням;
- за функцією;
- за потоком;
- за структурою.

За цима характеристиками досить зручно класифікувати різноманітні системи.

Призначення системи, яку побудовано людиною, на першому рівні задається тими, хто її проектував. Пізніше користувачі системи прилаштовують її до своїх власних цілей. Остаточну мету чи призначення системи важко передбачити тим, хто створює систему. У цьому випадку систему слід завжди розглядати у зв'язку з її користувачами, а не з розробниками, тому що не вони визначають її кінцеве призначення.

Система може мати більш ніж одне призначення. Одне і те ж призначення системи може бути досягнуте різними шляхами і задоволене різними системами.

Призначення системи щільно пов'язані із середовищем, в яке вони занурені. Для того, щоб зрозуміти сумісність призначень системи з існуючим середовищем, необхідно вивчити це середовище. Середовищем, що оточує систему, звичайно вважають ті зовнішні по відношенню до неї фактори, які впливають на її поведінку.

Система може бути зв'язана з середовищем за наступними критеріями.

Призначення. Перевіряють, чи сумісне призначення системи з середовищем?

Якщо ні, то слід модифікувати призначення, відмовитися від системи, або надати системі нового вигляду та приладнати її до середовища.

Побудова. Побудова включає зібрання компонент системи, щоб вони гармонійно взаємодіяли, як між собою, так і з середовищем.

Оцінка. Чи сумісна система з середовищем? Чи виконує вона ефективно своє призначення? Чи пропонує вона ефективно своє призначення? Чи пропонує діюча система додаткові цілі, які можуть бути досягнуті, якщо виконати невеликі модифікації?

Проблема, яка виникає у певній системі може розглядатися або як неправильне її функціонування в самій системі, або як недоліки у взаємодії системи з середовищем.

Функції являють собою перетворення призначення в дію. Ці дії можуть бути далі названі подіями, які реалізують призначення функцію елемента системи розглядають як сукупність її станів у просторі і часі.

Структура може змінюватися у часі сама з собою, потік також може змінювати структуру, наприклад у випадку зносу поверхні в результаті постійного потоку. Структура може також змінюватися у часі, наприклад, зростати зі зростанням кількості потоків.

Потоки розділяють на

- підтримуючі;
- потоки продукції чи відходів.

Підтримуючі потоки – це ті, що необхідні для стабілізації чи збереження первинної структури.

Потоки продукції чи відходів – це потоки, які є результатом структурної дії.

У будь якій структурі системи існує декілька рівнів потоків. Існують потоки на рівні атомів, на рівні органічних молекул, на рівні фізичних чи хімічних явищ, на рівні апаратів і т.ін. При чому потоки, як і структури, котрі їх обмежують, не залишаються сталими у часі.

Під **структурою** системи розуміють низку відношень, тобто визначену упорядкованість між елементами системи.

Під зв'язками розуміють взаємодію елементів системи, які забезпечують виникнення та збереження структури та цілісних властивостей системи. Усі зв'язки в системі побудовані так, щоб зробити можливим деякий вид потоку.

Поновлення структури завжди здійснюється для спрощення руху нових потоків, які виконують функції з новою метою. Часто оновлення структури – це тимчасова реакція на умови середовища.

4.1.2. Властивості відкритих систем

Систему називають відкритою, якщо вона обмінюється матерією, енергією або інформацією із середовищем, здійснює імпорт або експорт, синтез чи розокремлення матеріальних компонентів середовища. Якщо нічого не перетинає границю системи, то система називається замкнутою. Замкнута система не взаємодіє зі середовищем. Замкнутій системі у стані рівноваги непотрібна енергія для збереження цього стану. Енергія з неї також не може бути отримана. Наприклад, замкнутий резервуар утримує велику потенційну енергію, але вона не може привести в дію двигун. Те ж саме правильним є і для хімічної системи у стані рівноваги. Це не можна вважати за стан хімічного покою, але навпаки, у такому стані постійно протікають реакції відповідно до закону збереження маси таким чином, що

продукти реакції з'являються з тією ж швидкістю, з якою зникають. Тим не менш з такої хімічної рівноваги не може бути отримана будь-яка робота, і підтримка такої рівноваги не потребує будь-якої роботи із зовні. Алгебраїчна сума роботи, що отримується від використання елементарних реакцій, дорівнює нулю. Для виконання роботи необхідно, щоб система була не у стані рівноваги, а прагнула до нього.

Основна різниця між відкритими і замкненими системами полягає у тому, що останні повинні з часом досягнути незмінного стану хімічної та термодинамічної рівноваги.

Напроти відкриті системи можуть за певних обставин досягнути незалежного від часу стану, який називається стійким. Один і той же стійкий стан може бути досягнутий за різних початкових умов. У цьому стані система залишається незмінною, не дивлячись на безперервну взаємодію елементів із середовищем.

По відношенню до ХТС спеціалісти з теорії систем визначили наступні властивості хіміко-технологічних систем:

1) Цілісність. Визначимо систему як множину змінних. Кажуть, що вона поводить себе як ціле, якщо зміна однієї змінної викликає зміну усіх інших змінних. Це може мати місце у просторі, у часі або одноразово у просторі та у часі. Зміни можуть відбуватися не зразу. Цілісність виявляється у тому, що взаємодія елементів системи обумовлює її нові якості, які не властиві її частинам.

2) Наявність цілей функціонування.

Цілі функціонування визначають основне призначення системи. Цілі функціонування звичайно досягаються одночасним або послідовним виконанням низки задач. Таких задач може бути декілька, розв'язування їх визначають суть процесу функціонування системи та її підсистем.

3) Наявність управління

Процес управління – це процес упорядкування системи, тобто приведення її у відповідність до цілей і задач. Управління може здійснюватися безпосередньо людиною, або людиною з використанням технічних засобів, або тільки технічними засобами, які працюють за програмами, розробленими людиною.

4) Ієрархічність будови системи

Це означає, що кожний елемент системи, у свою чергу, може розглядатися як окрема система, а сама вона є лише одним з елементів системи більш високого рівня.

5) Безперервність зміни стану елементів підсистем без зміни її структурного графу. Зміна ж стану елементів та підсистем зі зміною структурного графу призводить до створення нової системи.

4.2. Системні дослідження

4.2.1. Предмет системних досліджень

Основним предметом системних досліджень є *аналіз стійкості системи*.

Стійкість інколи інтерпретується як надійність системи при досягненні певних цілей. Однією із форм стійкості системи є еквіфінальність, тобто система може досягнути одного і того ж кінцевого стану за різних початкових умов і різноманітними шляхами.

Коли у відкритих системах досягнуто стійкого стану, то він не залежить від початкових умов і визначається тільки параметрами системи, тобто швидкістю реагування і перетворення стану, прийняття нового стану. Такий стан називають ще еквіфінальним. У багатьох процесах, що відбуваються у фізико-хімічних системах одного і того ж кінцевого стану може бути досягнуто еквіфінально із різних початкових станів.

Стійкому стану системи притаманні регулюючі характеристики. Ці характеристики корисно вивчати, коли система знаходиться в стійкому стані.

Функціонуючи для того, щоб задовольнити призначення, будь-яка система може підлягати збуджуючим діям, котрі не були передбачені при її конструюванні. Крім того, початкова множина обмежень при побудові системи може не описувати усі труднощі, які з'являться з часом. Отже, щоб урахувати таку можливість, обмеження і цілі потрібно періодично переглядати. Для повернення системи до бажаного режиму необхідна інформація зворотного зв'язку.

Аналіз стійкості системи повинен здійснюватися для всіх компонентів системи. Корисно досліджувати стійкість структури і потоку окремо з точки зору виконання ними призначення.

Досліджують також стійкість цілей системи, оскільки вони підпадають змінам, перевіркам і є джерелом конфліктів. Стійкість системи залежить від інших систем, з якими вона взаємозв'язана. Часто буває вплив середовища настільки великим, що внутрішні зміни не можуть стабілізувати систему, у цьому випадку потрібно досліджувати стійкість у взаємодії системи і середовища.

Задачу аналізу стійкості звичайно формулюють на мові збуджуючих дій і стану системи. Збуджуючі дії розглядаються як безперервний процес. Однак, відома і переривиста поведінка системи, що виявляється в формі аварії (серйозної поломки, катастрофи), що являє собою непередбачену переривистість або раптову нестійкість в структурі і в потоці.

4.2.2. Проблеми теорії систем

Існують дві проблеми теорії систем – це побудова і управління.

Побудова. При вирішенні цієї проблеми відповідають на головне запитання:

1) Як при заданих цілях побудувати систему, яка б успішно задовольняла заданим цілям.

2) Управління. Як для заданого призначення системи управляти нею і модифікувати її структуру й потоки, щоб отримати загальну (динамічну) стійкість?

Для вирішення цих проблем створено системну методологію.

4.2.2.1. Системна методологія.

Спочатку ознайомимося зі значенням самого терміну «методологія», тоді стане зрозумілим наступне пояснення. Отже, «методологія» – походить від двох слів «метод» і «логія».

Метод (від грецького) – шлях дослідження чи спосіб пізнання, «логія» – від грецького – слово, вчення. У складних словах відповідає поняттям «наука», «знання».

Отже «методологія» –

1) вчення про методи пізнання;

2) сукупність прийомів дослідження, що їх застосовують у будь-якій науці відповідно до специфіки об'єкту пізнання.

Існують певні вимоги до системної методології.

Перш за все для вирішення системних проблем розробляють певну методологію дослідження, яка повинна бути сама системною, тобто вона повинна мати усі ознаки, що належать системам. Окрім цього у системній методології повинно бути передбачено, по-перше, пояснення взаємодії елементів в системі і по-друге, що деякі елементи системи можуть викликати ефекти незалежно від інших елементів.

Системна методологія має такі альтернативні шляхи дослідження систем:

1) пізнання системи, розкладаючи її на частини і досліджуючи ці частини окремо.

2) дослідження системи, перевіряючи функції з точки зору їх зв'язку з оточуючим середовищем.

При вирішенні проблем управління методологія повинна передбачати виділення для управління домінуючі елементи. У цьому разі виділенню домінуючих елементів повинен передувати опис системи як цілого.

Спроби управляти системою чи модифікувати її часто мають певні обмеження у фінансових, матеріальних та людських ресурсах. Тому

обмеження ресурсів слід передбачати для управління домінуючими елементами.

Методологія повинна бути орієнтована на вихід, щоб полегшити порівнювання між альтернативними рішеннями.

При пошуку альтернативних варіантів методологією передбачається:

- зібрання інформації;
- усвідомлення бажаного призначення і структури системи;
- визначення альтернативної стратегії втручання.

Методологія повинна використовувати інформацію із зовнішнього середовища для перевірки правильності кроків, що застосовані для управління системою чи модифікації її призначення.

Методологія повинна надавати можливість промодельовувати реакцію зовнішнього середовища.

Вважається, що методологія з різними системними ознаками має малу цінність, якщо вона не використовується при розв'язуванні задач побудови і управління.

Зважаючи на ці вимоги, в літературі пропонується загальна **методика системного дослідження** за якою:

1) виявляють конфліктність призначення системи і система досліджується як процес, що протікає у взаємодії із середовищем.

2) визначають (конкретизують) призначення системи, базуючись на характеристиках входів в систему, які визначаються проектувальником і користувачем. (Вхід в систему – це сукупність характеристик матерії, енергії, інформації.)

3) описують систему та її оточення;

4) описують елементи системи та їх взаємодію;

5) ідентифікують, позначають і описують стан, потоки і функції системи та описують їх зміну.

6) уточнюють проблеми з урахуванням досвіду користувачів;

7) досліджують умови, які впливають на стійкість і надійність системи;

8) розробляють заходи, що забезпечують стійкість стану по відношенню до збудження в елементах і в системі, а також у взаємодії між системою і оточуючим її середовищем;

9) визначають способи уведення управляючих дій, що сприяють стійкості системи у часі.

Це творчий процес і виконується з використанням методів інженерної творчості.

Сучасне харчове виробництво як досить велика і складна система складається із взаємозв'язаних підсистем, між якими існують відношення супідрядності з трьома основними рівнями якості системи (рис.7).

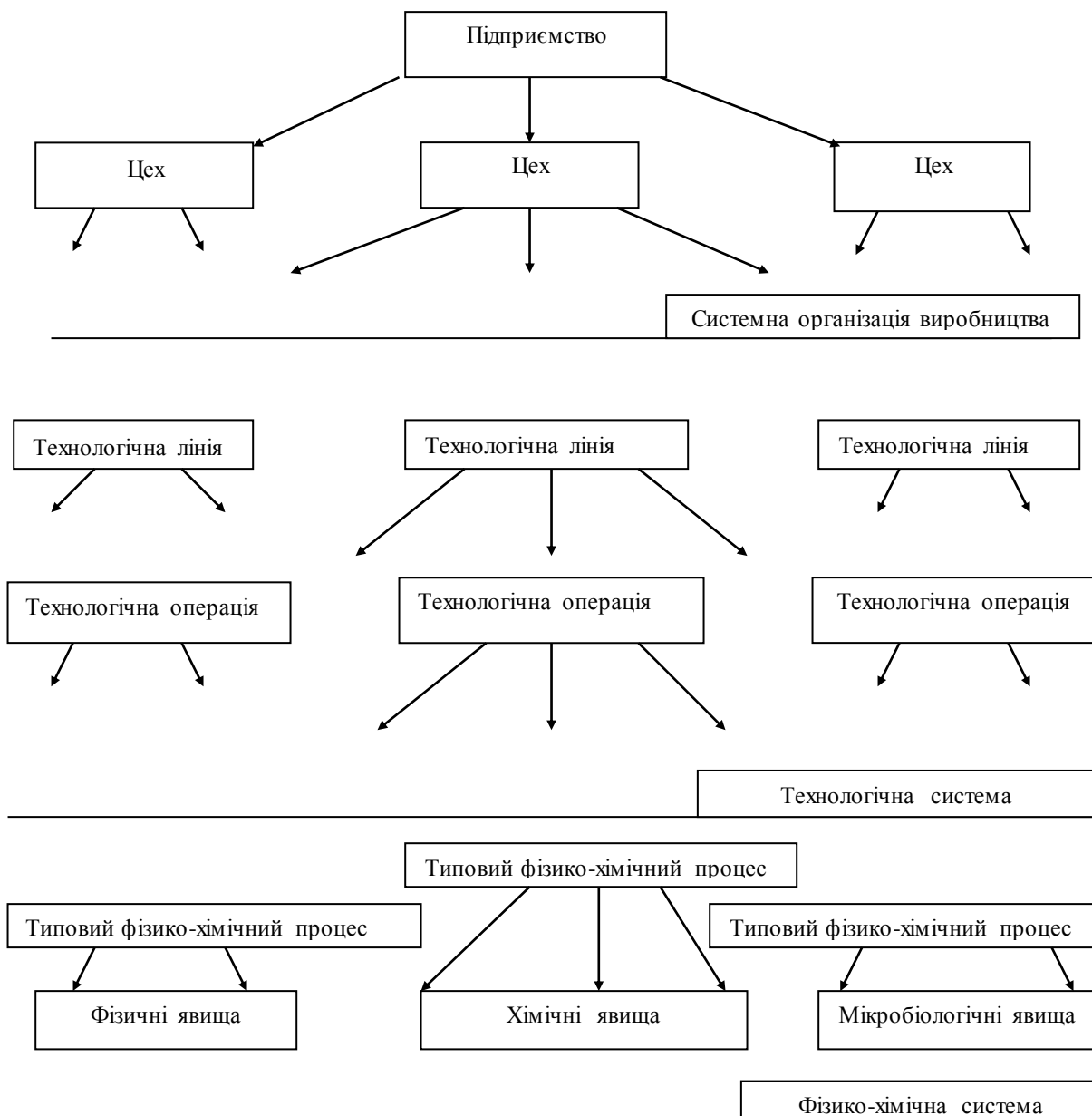


Рис. 7. – Система харчового підприємства.

Під **технологічною системою** (ТС) розуміють сукупність взаємозв'язаних технологічними потоками і діючих як одне ціле, апаратів, в котрих здійснюється певна послідовність технологічних операцій (підготовка сировини, власне хімічні перетворення, виділення цільових продуктів).

Вищий рівень ієрархічної структури харчового підприємства "Системна організація виробництва" – це система оперативного управління сукупністю цехів, плануванням запасів сировини і готової продукції.

Основу середнього рівня "Технологічна система" складають технологічні процеси в поточних лініях, що являють собою сукупність специфічних технологічних операцій.

Нижчий рівень "Фізико–хімічна система" утворюють типові процеси харчової технології у певному машино–апаратному оформленні.

Ще нижче за схемою іде деталізація типового процесу до рівня елементарних фізико–хімічних і мікробіологічних ефектів та явищ, що в свою чергу, складає можливість розглядати і цей елементарний процес, як складну систему.

Процес функціонування харчового підприємства, як складної системи складається з двох частин:

- власне технологічного процесу;
- процесу технологічного і організаційного управління підприємством.

Кожен ієрархічний рівень харчового підприємства характеризується певним показником ефективності функціонування.

Ціллю функціонування 1-го рівня, виділеного і названого "**Фізико–хімічна система**", є певна фізико–хімічна дія на технологічні потоки з високою продуктивністю і інтенсивністю. На цьому рівні основними показниками ефективності функціонування системи є ступінь перетворення хімічних компонентів потоку, ступінь розділення, коефіцієнт вилучення тощо. Елементи системи на цьому рівні функціонують в умовах зовнішніх і внутрішніх збуджуючих дій, котрі намагаються протидіяти цілеспрямованому протіканню фізико–хімічних процесів.

Внутрішні збуджуючі дії обумовлені зміною технологічних параметрів технологічних параметрів технологічних режимів функціонування системи.

Такими збуджуючими діями можуть бути зовнішні дії на елементи системи обумовлені зміною фізичних параметрів матеріальних і енергетичних потоків, тобто зміною складу сировини і матеріалів, зміною температури холодоагенту, зміною температури потоків тощо.

Ці збуджуючі дії мають як детермінований (такий що можна контролювати, визначати), так і випадковий (передбачуваний, але має певний ступінь випадковості) характер. До того ж період їх зміни коливається у великому діапазоні значень для забезпечення виконання елементами технологічної системи заданих цілей функціонування. В умовах збуджуючих дій використовують локальні системи автоматизованого управління процесом функціонування, що передбачає використання локальних систем оптимізації технологічних процесів, стабілізації фізичних параметрів потоків і параметрів технологічних режимів.

Метою функціонування системи на рівні “**Технологічна система**” є виробництво установленої кількості деякого цільового продукту або проміжного продукту заданої якості.

Показниками ефективності функціонування технологічних ліній і окремих технологічних операцій є норми витрат сировини, грючої пари, електроенергії, охолоджуючої води.

Витратні коефіцієнти здебільшого характеризують досконалість функціонування технологічної лінії чи окремої технологічної операції.

Зокрема, ці коефіцієнти визначають економіку виробництва цільового продукту.

При оцінці ефективності функціонування технологічних ліній суттєву роль відіграють показники економічної ефективності, такі як:

- продуктивність;
- собівартість продукції;
- прибуток;
- рентабельність тощо.

Нормальний режим функціонування технологічної лінії порушують такі збуджуючі дії як зміна попиту на споживання цільового продукту або проміжного продукту, зміна технологічних режимів функціонування, збої у забезпеченні виробництва сировиною і матеріалами, аварійні зупинки, експлуатаційні переключення обладнання у зв'язку з ремонтом тощо.

Період коливань таких змін та їх характер досить різноманітні.

На цьому ієрархічному рівні виникають задачі оптимізації з метою створення оптимальної координації функціонування елементів і підсистем, а також узгодження технологічних потоків між цими елементами.

Метою функціонування системи на рівні “**Система організації виробництва**” є випуск запланованого асортименту продукції відповідно до вимог стандартів і технічних умов.

Ефективність функціонування на цьому рівні визначається економічними показниками.

Збуджуючими діями, які викликають відхилення у функціонування технологічної системи на цьому рівні, є можливі аварії, нерівномірність надходження сировини і відвантаження готової продукції тощо.

Системи управління на цьому рівні – це, головним чином, організаційні, що координують роботу системи управління усіх нижчих рівнів ієрархії.

4.2.2.2. Системне дослідження.

Дослідження технологічних систем на сучасному етапі їх розвитку передбачає використання закономірностей їх будови і функціонування.

Водночас, системне дослідження передбачає не тільки застосування по відношенню до об'єкта вивчення окремих понять (система, елемент,

структура, зв'язок, навколишнє середовище тощо), але і, головним чином, побудову методологічної схеми, в межах якої вони були б щільно взаємопов'язані. Усе це вимагає створення нового стилю праці. Основна перевага системного дослідження над традиційним полягає у підвищенні ефективності праці науковця завдяки використанню комп'ютерної техніки, що у свою чергу, склало умови для дослідження технологічної лінії цілком.

На відміну від традиційної інженерної і наукової діяльності системні дослідження мають струнку схему (рис.8).

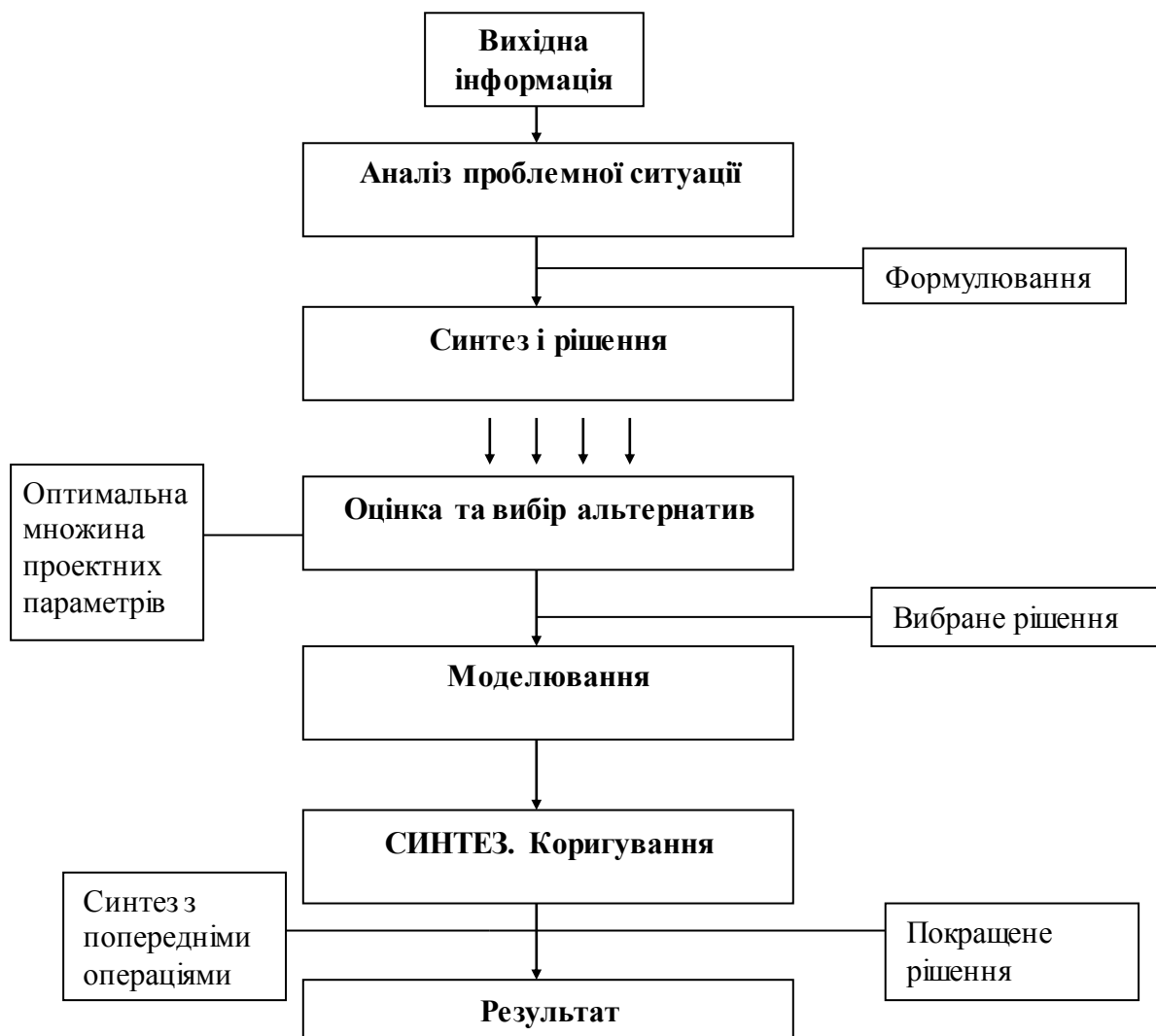


Рис. 8 – Послідовність операцій системного дослідження.

В рамках наведеної схеми необхідно вирішити наступні проблеми:

1) Зібрання і обробка інформації для прийняття науково–обґрунтованих рішень з удосконалення технології і техніки.

2) Розробка загальної програми з удосконалення системи як основи для взаємної ув'язки розвитку окремих підсистем і елементів.

3) Системний аналіз і системний синтез виробничого процесу в лінії з метою визначення його як системи і подальшого моделювання.

4) Виявлення особливостей функціонування виробничого процесу, необхідних для пояснення причин низької точності, малої стійкості і надійності системи.

5) Оцінка можливості управління технологічною лінією за допомогою статистичних методів.

6) Виявлення рівня розвитку систем шляхом кількісних оцінок цілісності структури, схоластичності зв'язків і чутливості елементів.

7) Визначення напрямків розвитку технології, обладнання і засобів автоматизації.

8) Прогнозування перспектив розвитку системи і її частин.

Кожна з цих проблем вирішується шляхом виконання одних і тих же операцій у визначеній послідовності.

Перелічені проблеми викликають необхідність залучати спеціалістів з різних областей знань, забезпечувати їх взаємодію і взаєморозуміння.

4.2.3. Схема системних досліджень харчових виробництв

Якщо вести мову про системі дослідження, то тут перш за все, потрібно визначити роль і місце людини – дослідника. Системні дослідження відрізняються від традиційних, перш за все тим, що базуються на найширшому використанні комп'ютерної техніки, інформаційної технології. А це впливає на вибір методів дослідження. Такі методи, головним чином, базуються на використанні математичних моделей. Тобто дослідник оперує з математичними моделями об'єкту дослідження.

Хід і результати дослідницької роботи з розвитку технологічних систем залежить від того, якою мірою дослідник слідує правилам системних досліджень інакше кажучи, яка схема досліджень обирається і як дослідник дотримується тієї послідовності операцій, які означені цією схемою.

Для кожної галузі промисловості чи то машинобудування, чи то хімічної, чи харчової, розробляється свій методологічний апарат системних досліджень. Він урахує специфіку технології виробництва.

Розглянемо детальніше схему системних досліджень (рис.9), наведену **Панфіловим**, і визначимо зміст кожного її етапу



Рис. 9. – Схема системних досліджень

1. Вихідна інформація для дослідження формується на основі виявлення потреби, що у свою чергу, передбачає установлення самого факту існування проблеми, у зв'язку з якою повинно бути задіяна та чи інша коригуюча дія на систему. Такими проблемами є випуск нового продукту (нового виду олії, майонезу, маргарину тощо), або виявлення недоліку технології. Далі формуються задачі дослідження, тобто виконується підетап **2.** «Аналіз проблемної ситуації», що включає в себе детальний опис системи. Для цього у зв'язку з напрямками дослідження виділяють в системі ієрархічні рівні, проводять декомпозицію, виявляють параметри технологічних процесів, що суттєво впливають на функціонування системи. За цим формується «вихідна (початкова) інформація», що містить опис технологічної системи, тобто інформацію про фізико–хімічні і функціональні характеристики елементів і потоків, структурні особливості системи, економічні показники вартості сировини, продуктів, енерговитрат тощо.

3–4. Аналіз (оцінка та вибір альтернатив) і синтез рішення.

Задачу оцінки з вибору альтернатив (аналізу) трактують як задачу вивчення властивостей і ефективності функціонування системи залежно від:

1) структури технологічних зв'язків між компонентами і підсистемами;

- 2) від значень конструкційних і технологічних параметрів системи;
- 3) від параметрів технологічних режимів елементів.

Фундаментальна мета задачі аналізу технологічної системи полягає в тому, щоб математично зв'язати характеристики стану системи (значення вихідних змінних) з параметрами і характеристиками стану елементів системи (підсистем) залежно від структури технологічних зв'язків між елементами, системами (підсистемами).

На практиці задачі аналізу найчастіше трактуються як задачі оцінки можливих варіантів (альтернатив) системи (структури технологічних зв'язків між елементами, значень параметрів системи).

Для кожного з можливих варіантів дослідження системи обчислюють сукупність показників ефективності функціонування. Порівнюючи значення цих показників одержують уявлення про недоліки або переваги тих чи інших варіантів системи, так званих альтернатив.

Під час вибору альтернативи (підходящого варіанту системи) звертають увагу на те, щоб показники, які характеризують властивості систем мали стабільність при зміні у певних межах. Етапи синтезу і аналізу щільно пов'язані один з одним і багатократно повторюються. Ітеративний характер цих етапів виявляється у тому, що спочатку дослідник визначає концептуальну основу конкретного технічного або технологічного рішення, а тоді ця концепція підлягає аналізу, удосконаленню за результатами аналізу і повторному втіленню або реалізації. Цей цикл повторюється доти, доки не буде отримане оптимальне рішення в умовах проектних обмежень.

Задача синтезу системи полягає у виборі структури технологічних зв'язків, значень параметрів системи і параметрів технологічних режимів елементів. Цей вибір виконують спираючись на задані властивості і показники функціонування технологічної системи.

Процес синтезу технологічної системи у загальному випадку пов'язаний з розв'язуванням трьох основних задач:

Задача 1. При заданих цілях і властивостях елементів системи необхідно визначити структуру технологічних зв'язків між цими елементами, яка забезпечує оптимальні значення показників ефективності функціонування системи.

Задача 2. При заданих типах елементів і структурі технологічних зв'язків між ними потрібно вибрати такі параметри і характеристики елементів, які забезпечують оптимальність показників ефективності технологічної системи.

Задача 3. При заданих типах і властивостях елементів і заданій структурі технологічних зв'язків між ними необхідно вибрати таку систему управління і здійснити деяку корекцію структури технологічних

зв'язків з уведенням нових елементів, щоб забезпечити оптимальність показників ефективності функціонування технологічної системи в умовах експлуатації, тобто забезпечити стійкість функціонування системи (за наявності внутрішніх і зовнішніх збуджуючих дій, нестабільності параметрів вхідного потоку тощо).

Іншими словами, глобальну задачу синтезу технологічної системи (ТС) визначають наступним чином: Із заданих видів сировини, енергії, технологічного обладнання, різних шляхів хімічного перетворення вхідних речовин в цільові продукти необхідно створити (синтезувати) технологічну систему, що відповідає заданим властивостям.

Задача синтезу ТС не може бути цілком (повністю) формалізована, вона потребує творчої участі людини.

При синтезі ТС виділяють наступні етапи :

1) Синтез структури і вибір головних елементів системи.

Основні задачі, що вирішують на цьому етапі такі:

– вибір оптимальних шляхів проведення процесів (реакцій і умов для їх проведення);

– якісне вилучення готових продуктів.

Кінцева мета цього етапу синтезу ТС полягає у складанні технологічної схеми.

2) Складання матеріальних і теплових балансів та попередній розрахунок ТС (визначення параметрів і геометричних розмірів елементів системи).

3) Розрахунок і оптимізація ТС. На цьому етапі визначають кінцеві значення стану усіх потоків і головних розмірів елементів технологічної системи.

4) Модифікація ТС.

Оптимальну ТС модифікують для покращання деяких властивостей, тобто для розширення меж оптимальності з метою підвищення надійності і стійкості функціонування ТС .

5) Синтез системи управління.

Виходячи із властивостей статички і динаміки ТС, а також можливих збуджуючих дій визначають управляючі змінні, цільову функцію і вибирають систему управління.

6) Оцінки пов'язана з порівнянням характеристик варіанту системи з вимогами, установленими на етапі постановки задачі.

Успішне вирішення проблем дослідження ТС передбачає наявність математичної моделі системи.

При проведенні системних досліджень модель як самостійний об'єкт дозволяє одержати деякі знання про об'єкт – оригінал.

Модель використовується для одержання такої інформації про оригінал системи, яку досить складно, або неможливо одержати шляхом безпосереднього вивчення оригіналу.

Моделюванню підпадають як елементи системи, так і система цілком, а також її структура.

Порівняно зі звичайним моделюванням процесів, моделювання складних технологічних систем має свої особливості.

4.3. Математичне моделювання технологічних систем

Математичне моделювання ТС має свої особливості і базується на створенні так званих систем математичного моделювання.

Увесь комплекс робіт умовно поділяють на 2 частини:

I частина: „Створення математичної моделі” включає етапи:

- 1) постановка задачі;
- 2) декомпозиція системи;
- 3) моделювання елементів системи;
- 4) моделювання підсистеми;
- 5) розробка загального моделюючого алгоритму;
- 6) моделювання системи.

II частина пов'язана з „Плануванням використання моделі” і має продовження на етапах:

- 7) складання плану робіт з моделлю;
- 8) формулювання робочих гіпотез;
- 9) планування експериментів з перевірки цих гіпотез;
- 10) планування оптимізаційних експериментів.

Перший етап за трудомісткістю складає 80–90% від усього комплексу робіт. Тому для прискорення процесу моделювання корисно до моменту одержання завдання уже мати готові блоки–програми моделювання для використання.

Найближний зміст робіт за етапом:

1. Постановка задачі.

На цьому етапі:

- вирішують питання про доцільність застосування математичного моделювання;
- ставлять запитання, на які повинна відповісти модель;
- визначають, з якою точністю потрібно відповісти на поставлені запитання.

Для цього слід виконати наступні роботи:

- 1) Скласти перелік питань, на які потрібно відповісти в кінці моделювання, тобто, сформулювати мету і задачі моделювання.

2) Виконати оцінку мети і задач та вирішити чи слід застосувати математичне моделювання.

3) Вивчити технологічні процеси окремо, в сукупності і поагрегатно.

4) Вивчити систему контролю, управління процесами, режими експлуатації елементів системи.

5) Скласти список параметрів компонентів і потоків речовин та енергії, контрольних і управляючих параметрів, збуджуючих дій.

6) Сформуувати виробничі дані для основного (початкового) варіанту.

7) Перевірити, чи достатньо даних для опису основного (початкового) варіанту? Якщо ні, то провести лабораторні (або виробничі) дослідження або знайти додаткові літературні (експериментальні) дані.

8) Побудувати моделі елементів системи, підсистем у вигляді структур зв'язаних блоків.

9) Побудувати інформаційні схеми з моделями підсистем і джерелами зовнішніх і внутрішніх збуджуючих дій.

10) Виконати оцінку усієї сукупності даних не тільки для початкового варіанту, але і для усіх можливих і доцільних модифікацій системи, аналіз яких може знадобитися при моделюванні.

2. Етап декомпозиції системи

Технологічну систему ділять на доступні за складністю і функціонально закінчені частини – підсистеми, потім кожен підсистему – на відносно прості елементи. Такий розподіл виконують у відповідності з означеними задачами.

3. Етап моделювання елементів системи

Задача створення математичної моделі елементів системи полягає:

1) у визначенні рівнянь зв'язків між параметрами процесу і додаткових умов (початкових і граничних);

2) у складанні моделі процесу у вигляді системи математичних співвідношень, що описують технологічний (процес) об'єкт.

Математичний опис складають на основі матеріальних і енергетичних балансів, а також фізичних законів, що визначають перехідні процеси в елементах, або таких, що характеризують специфічні особливості процесу.

В систему математичного опису елемента системи у загальному випадку входять алгебраїчні рівняння, диференційні рівняння звичайні і у часткових похідних, емпіричні формули, логічні умови тощо.

Виділяють чотири основні групи таких співвідношень:

1) рівняння матеріального і енергетичного балансу. Ця група рівнянь описує розподіл в потоках температури, складу потоку і його властивостей (в'язкість, густина, теплоємність тощо);

2) рівняння „елементарних” процесів для локальних елементів потоків. До цієї групи відносять математичні описи процесів масо– і теплообміну, хімічних реакцій тощо;

3) теоретичні поліноміальні, емпіричні і напівемпіричні співвідношення між різними параметрами процесу;

4) обмеження на параметри процесів.

Під час вибору моделі елемента системи необхідно урахувати наступне:

- модель повинна найповніше віддзеркалювати характер потоків речовин і енергії за умов достатньої простоти математичного опису;

- параметри моделі повинні бути визначені експериментальним шляхом.

Усі елементи реальної технологічної системи описуються математичними моделями зручними з аналітичної точки зору і в обчислювальному відношенні.

Які процеси вважати основними, і які фактори головними, суттєво залежить від призначення моделі. Тому для процесу функціонування одного й того ж реального об'єкту (елемента системи) можна одержати різні математичні описи. Вибір основних параметрів процесу визначається специфікою подальшого використання математичної моделі.

Найбільший обсяг робіт на цьому етапі займає комплексна відладка програми, що займає близько 50 % часу, відведеного на розробку математичної моделі. Зокрема, на розробку алгоритмів і програм йде 30–40 %, автономну відладку окремих модулів – 10–20 %.

Щоб скоротити час комплексної відладки моделі використовують її спрощення шляхом заміни змінних величин константами (де вони змінюються у малому діапазоні) і виключають деякі змінні, або об'єднують їх, допускають лінійну залежність між досліджуваними величинами.

4. Етап моделювання підсистем

На цьому етапі виконують моделювання структур підсистем. (Іншими словами створюють головну управляючу програму, котра зв'язує математичні моделі елементів системи з урахуванням структурного графу).

На цьому етапі необхідно виконати основну вимогу, щоб точність опису процесів в підсистемах забезпечувала необхідну точність обчислення вихідних показників усієї складної системи.

5. Етап розробки загального моделюючого алгоритму

Полягає у відображенні режиму функціонування системи у часі за умов заданих дій (зовнішніх, внутрішніх і управляючих). Іншими словами – настройка моделі до реального часу.

6. Етап моделювання системи

На цьому етапі розв'язують наступні задачі:

- зіставляють цілі моделювання системи з наявністю засобів, коштів, часу, підготовленістю персоналу і з точністю, яка може бути досягнута в розрахункових блоках моделі;
- при необхідності збирають додаткові дані шляхом виконання лабораторних і виробничих експериментів;
- в'ясняють ступінь універсальності моделей;
- при необхідності (наприклад, за обмеженості комп'ютерного ресурсу) визначають шляхи спрощення моделі системи;
- визначають адекватність моделі шляхом порівняння результатів моделювання за певних умов і обмежень з даними одержаними на реальних об'єктах;
- виконують випробування повної моделі системи.

Визначення вірогідності моделі системи вважається найважливішою проблемою при вирішенні задач моделювання.

Для цього перевіряють:

- повноту технологічної схеми;
- відсутність або наявність в технологічній схемі непередбачених циклів;
- правильність описів елементів, зв'язків і переходів між модулями моделі;
- повноту опису;
- правильність ієрархічного розташування елементів технологічної (або функціональної) схеми;
- правильність використання усіх математичних виразів і рівнянь;
- розмірність величин в рівняннях;
- джерела вхідних величин і використання вихідних величин;
- правильність розрахунків (правильність використання вбудованих функцій, процедур);
- правильність задання початкових значень усіх параметрів і змінних.

Математична модель системи – це досить складна комп'ютерна програма. Правильність її роботи перевіряють шляхом випробування з використанням різних задач–тестів (контрольних прикладів).

Випробування повної математичної моделі системи виконують з метою виявлення помилок моделювання.

Причини появи помилок:

- спрощення початкової моделі;
- неточність вхідних даних;
- наявність випадкової помилки.

Виявити ці помилки можна тільки при комплексному випробуванні, яке поділяють на попереднє і остаточне.

Під час попереднього випробування, яке здійснюють самі розробники програм, виконують:

- автономне випробування окремих підпрограм, блоків, модулів;
- стиковочне випробування декількох підпрограм і програм, що функціонують без підключення реальних об'єктів;
- комплексне випробування усієї програми разом з реальними джерелами інформації і реальними об'єктами управління.

Остаточне випробування моделі поділяють на дві категорії:

- 1) Верифікація. Використовуючи цей спосіб переконуються, що модель поводить себе так, як це було задумано;
- 2) Оцінка адекватності. Використовуючи цей спосіб перевіряють відповідність між поведінкою моделі і поведінкою реальної системи.

При оцінці адекватності моделі переконуються, що модель поводить себе так, як і реальна система. Переконуються також, що висновки, які одержані за результатами експериментів на моделі є достатньо коректними. Після перевірки адекватності модель вважається готовою до експлуатації.

4.3.1. Планування використання моделі

Складання плану робіт з моделлю виконується в умовах, коли про систему зібрано детальну інформацію і коли уже є її працездатна модель.

Зміст цього етапу безпосередньо пов'язаний зі змістом першого етапу „Постановка задачі”.

В загальному випадку задача зводиться до обчислення деякого математичного виразу, як функції параметрів і змінних стану системи. Ця функція являє собою поверхню відгуку в досліджуваній області зміни параметрів і змінних.

4.3.2. Планування оптимізаційних експериментів

Можливі наступні варіанти розв'язування задачі оптимізації системи:

1 варіант. Спираючись на власну інтуїцію і практичний досвід, розробник (інженер–проектувальник) може вибрати можливі рішення і визначити необхідний елемент системи, значення досліджуваної змінної, коефіцієнтів полінома, що зв'язує змінні входу і виходу системи.

У цьому випадку з використанням комп'ютера виконують обчислення критеріїв оптимальності і оптимальне рішення знаходять

методом проб і помилок. При цьому оптимальне рішення може бути одержане лише за умов реалізації великої кількості ітерацій.

2 варіант. Інженер вибирає певний елемент системи і визначає коефіцієнти полінома, що зв'язує змінні входу і виходу. На комп'ютер покладається визначення досліджуваної змінної. При цьому комп'ютер виконує систематизований ітераційний розрахунок, а послідовність обчислень від моделювання системи до обчислення величини критерію оптимальності виконується з застосуванням методів оптимізації.

3 варіант. Інженер вибирає елемент системи і для декількох значень коефіцієнтів полінома, що зв'язує вихідні змінні зі вхідними, та з використанням спеціальної програми на комп'ютері визначають оптимальну структуру системи.

Для усіх трьох варіантів потрібна лише одна модель системи, змінюється лише план роботи з моделлю.

4.3.3. Складання робочих гіпотез та планування експериментів з перевірки цих гіпотез

Під час складання робочих гіпотез ураховують наступні фактори:

- обсяг інформації для розв'язування задачі;
- вірогідність інформації;
- підзадачі, для яких інформація достатня;
- ресурси часу та ресурси комп'ютера;
- очікувані результати.

За умов недостатку інформації про систему висувують гіпотези відносно можливих результатів, справедливості яких потім перевіряється в експериментах на моделі.

Для перевірки гіпотез, по–перше, складають план комп'ютерного експерименту. Тобто, залежно від конкретного вмісту системи, вибирають фактори (параметри, технологічні режими, схеми тощо), які повинні варіюватися, призначають діапазон допустимих змін вхідних змінних і вибирають способи оцінки результатів. По друге, уточнюють мету експерименту, щоб вибрати найкращий план.

У цьому випадку визначають дві основні цілі експерименту:

- 1) Знайти таку комбінацію рівней факторів, що варіюються, за якої вихідна змінна системи приймає максимальне, або мінімальне значення;
- 2) Вияснити залежність виходу системи від факторів, щоб зрозуміти механізм, що лежить в основі процесу.

4.4. Стратегія математичного моделювання технологічних систем

Найпоширенішими видами серед математичних описів ТС є детерміновані і статистичні математичні моделі.

Детермінована модель будується на основі фундаментальних законів і закономірностей. Вона складається із законів термодинаміки, хімічної кінетики, законів збереження маси, енергії і ураховує такі явища, як дифузія, тепло– і масопередача, гідродинаміка, перемішування тощо.

Статистична модель заснована на обробці експериментальних даних. На основі статистичного аналізу з використанням методу планування експерименту виявляють залежність між вхідними і вихідними параметрами системи, визначають коефіцієнти цієї залежності.

Стратегія прийняття інженерних рішень за допомогою методів математичного моделювання полягає у наступному:

По–перше:

- розробляють математичні моделі процесів і структури ТС;
- виконують орієнтаційні розрахунки, метою яких є оцінка зв'язку між структурою і параметрами моделі, а також взаємного впливу основних критеріїв і обмежень;
- визначають основні критерії, за яких необхідно досягти кращі рішення;
- визначають проектні обмеження.

Далі виконують пошук найкращих проектних рішень, для чого формулюють пошукову задачу. Здебільшого пошукова задача розбивається на декілька окремих задач оптимізації за рядом критеріїв. Визначають мету оптимізації і вибирають обчислювальний метод розв'язування задачі на ПК.

За окремими критеріями виконують вибір раціональних рішень шляхом порівнювання кращих рішень. Для вибору найраціональнішого з них висувають додаткові кількісні і якісні вимоги. Раціональне рішення визначають як рішення близьке за рядом критеріїв до оптимального.

4.4.1. Розробка математичних моделей технологічних систем

Кожний елемент ТС описується окремою частиною повної математичної моделі, тобто загальна модель ТС розбивається на блоки. Блоки зв'язані порівняно невеликою кількістю параметрів, що передаються з блоку до блоку. Звичайно технологічний об'єкт розділяють на кінцеве число блоків. Кожний з них моделюється незалежно від інших. Окремі моделі блоків зв'язуються на основі фактичної ієрархії технологічного об'єкта.

Складання математичного опису полягає у формалізації елементів ТС у вигляді системи математичних співвідношень. Математичний опис ТС складають на основі матеріальних і енергетичних балансів, а також фізичних законів, що визначають перехідні, або інші специфічні особливості системи. Для побудови математичних моделей технологічних об'єктів використовують фундаментальні закони фізики і збереження маси, енергії тощо. В систему математичного опису технологічного об'єкту і його елементу у загальному випадку можуть входити:

- алгебраїчні рівняння;
- звичайні диференційні рівняння;
- диференційні рівняння в часткових похідних;
- емпіричні формули;
- логічні умови;
- тощо.

Під час моделювання складних ТС можливі наступні випадки:

1. Система, яку моделюють, достатньо добре вивчена, що дозволяє записати аналітичні співвідношення, які й будуть служити моделлю (рівняння матеріальних і теплових балансів, рівняння кінетики тощо). При цьому вважається, що усі коефіцієнти аналітичних співвідношень відомі.

2. Математична модель відома з точністю до невідомих параметрів. Для визначення цих параметрів виконують необхідне число експериментів.

3. Відомо, що модель може бути одна з множини функцій. Необхідно виконати експеримент для вибору необхідної моделі і визначити невідомі параметри та довести адекватність моделі.

4. Аналітичний вигляд моделі невідомий взагалі.

У трьох останніх випадках ефективними виявляються статистичні методи моделювання (регресійний, дисперсійний, факторний аналіз тощо). Ці методи базуються на спостереженні за функціонуванням системи і обробці результатів спостереження. У цьому випадку найефективнішим виявляється застосування методів теорії планування експерименту.

Послідовним нарощуванням елементів моделей можна досліджувати системи будь-якої складності.

При створенні (складанні) загальної моделі, що складається з окремих функціональних блоків, можливі два підходи залежно від призначення моделі.

1) Структурний підхід – моделювання внутрішньої структури системи, процесів функціонування її елементів. Цей підхід застосовується тоді, коли задачею моделювання є перевірка структури систем, правильності взаємодії її складових частин. Критерієм правильності структури моделі системи є виконання моделлю заданої у ході моделювання функції.

2) Функціональний підхід: засновано на моделюванні функції системи. У цьому випадку систему розглядають як „чорний ящик”. При чому його внутрішня структура може не моделюватися. Такі системи (підсистеми) розглядають як неподільні.

Вибір того чи іншого підходів, чи їх суміщення залежить від поставленої задачі моделювання і дослідження.

4.4.1.1. Вимоги до моделей

При моделюванні складної системи звичайно використовується сукупність декількох моделей із числа усіх різновидів. При цьому можливі випадки появи декількох різноманітних моделей однієї й тієї ж системи.

Наприклад, моделі динаміки процесів, різного обсягу, різної кількості параметрів, процесів, статичні процесів, статистичні моделі.

Для зручності оцінки і порівняння між собою схем моделювання існують три основні вимоги до математичних моделей.

1. Точність математичної моделі – це властивість моделі відбивати рівень збігу значень модельованих параметрів з істинними (реальними) значеннями цих параметрів. При цьому істинні значенням параметрів об’єкта звичайно ототожнюють з експериментальними.

2. Економічність математичної моделі – визначається перш за все витратами комп’ютерного часу і ресурсів. Показником економічності математичної моделі може служити також кількість внутрішніх параметрів задіяних в моделі.

3. Рівень універсальності математичної моделі визначається її придатністю до аналізу численної групи однотипових об’єктів до їх аналізу в одному чи багатьох режимах функціонування.

4.4.2. Види математичних моделей

Для моделювання складних технологічних систем та їх елементів використовують наступні види моделей:

- стаціонарні і нестаціонарні;
- динамічні;
- лінійні й нелінійні;
- зосереджені і розосереджені у просторі;
- детерміновані і ймовірні;
- інформаційні та інші.

Дамо коротку характеристику цим видам моделей.

Стаціонарні і нестаціонарні.

Систему та її модель називають стаціонарною, якщо її структура і властивості операторів не змінюються у часі. У протилежному випадку – система та її модель – нестаціонарні.

Окремим випадком стаціонарних моделей є моделі статичні. Ці моделі включають опис зв'язків між основними змінними процесу в сталому стійкому режимі. Математичний опис статички хіміко-технологічного процесу складається звичайно з трьох видів рівнянь:

- матеріального і теплового балансів;
- термодинамічної рівноваги системи;
- швидкості протікання процесів.

Для складання опису процесів, що протікають з невеликими відхиленнями від стабільних умов, приймаються припущення, які дозволяють вважати процес сталим.

Стаціонарні математичні моделі звичайно складаються з диференційних рівнянь, а статичні моделі – з алгебраїчних.

Динамічні моделі.

Звичайні динамічні моделі характеризуються множиною змінних стану системи, які змінюються у часі (або залежно від деякої іншої незалежної змінної) у відповідності з певними диференційними рівняннями першого порядку.

Динамічні моделі включають опис зв'язків між основними змінними процесу у часі в умовах переходу від одного режиму до іншого. Складання динамічної моделі зводиться до одержання динамічних характеристик процесу (в системі).

Лінійні й нелінійні моделі.

Лінійність чи нелінійність процесу, що досліджується, має безпосередній вплив на вид моделі.

Хоч більшість промислових процесів – нелінійні, широко застосовуються в інженерній практиці саме лінійні моделі, завдяки їх простоті і економічності обчислення.

Лінійність чи нелінійність моделі системи відносно вхідних змінних – це не те саме, що лінійність чи нелінійність вихідних змінних.

Для технологічних систем математична модель називається лінійною, якщо вона може бути представлена деяким оператором і якщо для системи є справедливим принцип суперпозиції. Цей принцип полягає у тому, що лінійній комбінації будь-яких вхідних параметрів відповідає та ж лінійна комбінація значень змінних на виході із системи.

На прикладі лінійність моделі системи можна бачити з поліному:

$$y = af(x_1) + bf(x_2) + cf(x_3) + \dots,$$

де $f(x_1) = \alpha_1 x_{1,1} + \alpha_2 x_{2,2} + \alpha_3 x_{3,3}$ – є лінійна залежність.

Нелінійні моделі ТС поділяють на два класи: алгебраїчні та трансцендентні.

Алгебраїчні – це загальновідомі, що у складі мають тільки алгебраїчні співвідношення.

Трансцендентні моделі представляють системами рівнянь, що у складі мають показникові, степінні, тригонометричні залежності. Розв'язування цих моделей є досить складним, тому для їх обчислення необхідний більший комп'ютерний ресурс.

В математичних моделях систем часто використовують ряд нелінійних математичних структур, у першу чергу, це степінні поліноми, розв'язування яких досить легко виконується методами інтерполяції.

Інтерполяційні поліноми використовують для об'єктів з відомими залежностями та для об'єктів з точними даними про значення вхідних і вихідних параметрів системи.

Моделі розосереджені і зосереджені у просторі.

Параметри технологічної системи змінюються у просторі й у часі. При цьому, урахувавши просторові признаки, розрізняють моделі з розосередженими параметрами й моделі зі зосередженими.

Якщо основні змінні процесу змінюються у часі й у просторі, то моделі, що описують такі процеси, називають моделями з розосередженими параметрами. Звичайно вони мають вигляд диференціальних рівнянь у часткових похідних.

За такими моделями описують, головним чином, процеси тепло– і масопередачі енергії й речовини.

Якщо основні змінні процесу не змінюються у просторі, а змінюються тільки у часі, то математичні моделі, що описують такі процеси, називають моделями із зосередженими параметрами. Ці моделі записують, головним чином, у вигляді звичайних диференціальних рівнянь.

Детерміновані та ймовірні моделі (стохастичні, випадкові).

Якщо досліджувана система за своєю природою характеризується як детермінована, то вважається, що параметри стану усі й однозначно визначаються заданням вхідних параметрів й управляючих дій. Модель такої системи називається детермінованою.

Ці моделі мають вигляд диференціальних рівнянь, лінійних різницевих, інтегральних і операторів для зведення до алгебраїчних моделей тощо.

Якщо хоч один вхідний параметр системи визначається значенням випадкової величини, то модель системи, що має у складі такий параметр називається ймовірною моделлю. Для вивчення таких систем використовують математичний апарат теорії ймовірності. За допомогою цього апарату параметри стану системи оцінюються у термінах математичного очікування, а збуджуючі параметри характеризуються ймовірними законами розосередження.

Інформаційні моделі.

За допомогою інформаційних моделей моделюються складні системи, що представляються великими технологічними схемами. Ці схеми налічують велику кількість апаратів, арматури, мають складну структуру технологічних зв'язків.

Функціонування таких моделей (систем) є низка явищ (випадків), що відбуваються за певного часу і являють собою зміну стану елементів.

Кожний елемент в моделі технологічної системи, що має графічний аналог, описується своїм блоком даних.

Ідея інформаційної моделі полягає у тому, що графічні елементи ТС, представлені блоками даних, можна розглядати як об'єкти з індивідуальними характеристиками типу. Кожний з таких об'єктів може бути окремо створений, переміщений, повторений в іншому місці й навіть стертий.

Блок даних являє собою уособлену ділянку пам'яті фіксованої довжини, в якій описано конкретний елемент технологічної системи. Формат блока даних будь-якого типу стандартизується у межах комп'ютерної програми і входить складовою частиною в загальну структуру даних системи.

4.5. Моделювання структури технологічної системи

Моделювання структури ТС має свої особливості відносно кожного рівня ієрархії.

Розглянемо ці особливості на прикладі наступної ієрархічної будови ТС, що відповідає традиційному уявленню про структуру.

За технологічну систему будемо вважати сукупність однорідних елементів, поєднаних між собою складною структурою технологічних зв'язків. Наочно така система зображується технологічною схемою. Тоді будемо мати таку ієрархічну будову (рис. 10):

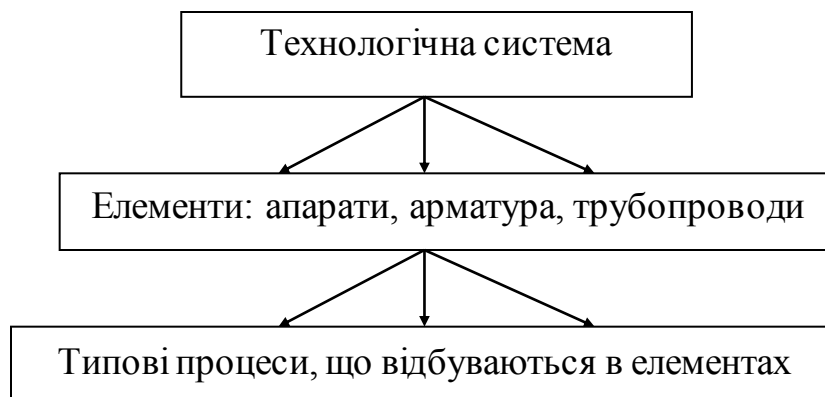


Рис. 10 – Ієрархічна будова технологічної системи.

4.5.1. Операторні схеми

Кожний типовий процес у хімічній технології вважають типовим технологічним оператором.

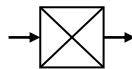
Технологічний оператор відбиває якісне і/або кількісне перетворення фізичних параметрів вхідних матеріальних і теплових потоків у фізичні параметри вихідних матеріальних і теплових потоків.

Тобто, іншими словами, технологічний оператор змінює властивості і стан матеріального і теплового потоку в системі.

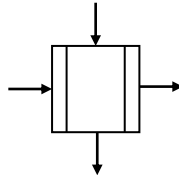
Типові оператори поділяють на основні і допоміжні.

До основних ТО відносять оператори:

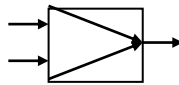
1. хімічного перетворення:



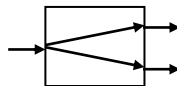
2. міжфазного масообміну:



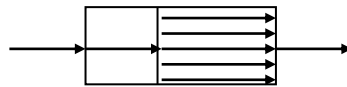
3. змішування:



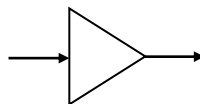
4. розділення:



5. подрібнення:



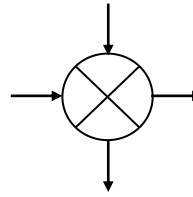
6. дозування:



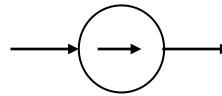
тощо.

Допоміжні технологічні оператори змінюють енергетичний і фазовий стан технологічного потоку. До них відносять:

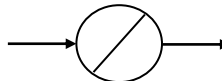
1. нагрівання і охолодження:



2. стискування і розширення:



3. зміни агрегатного (фазового) стану речовини:



тощо.

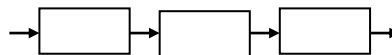
Взаємодію окремих технологічних елементів та зв'язок елемента із зовнішнім середовищем зображують технологічними зв'язками. Кожному технологічному зв'язку відповідає фізичний (матеріальний або енергетичний) технологічний потік, або компонент потоку. У загальному випадку характер технологічних зв'язків системи являє собою складну комбінацію типових зв'язків. Будь-яка технологічна система має відповідну технологічну структуру (топологію), що характеризується наявністю у системі деякого числа елементів певного типу та числом певного типу зв'язків.

Характер і особливості технологічних зв'язків технологічної системи, тобто спосіб з'єднання елементів між собою, наочно зображують за допомогою узагальнених іконографічних моделей:

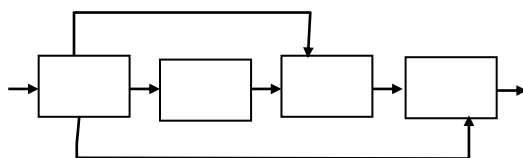
- операторних;
- функціональних;
- структурних;
- технологічних.

4.5.1.1. Види технологічних зв'язків

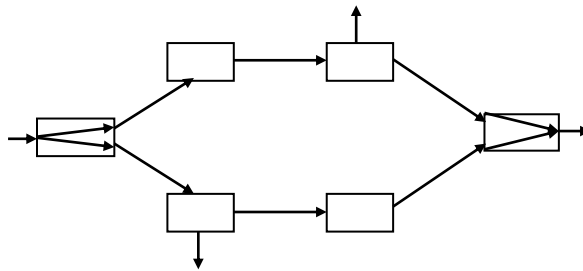
1. Послідовний:



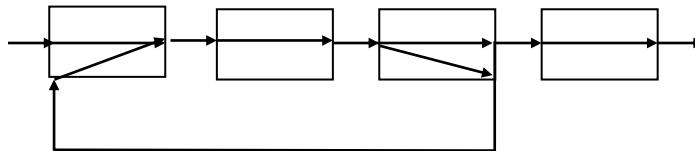
2. Послідовно-обводний (байпас):



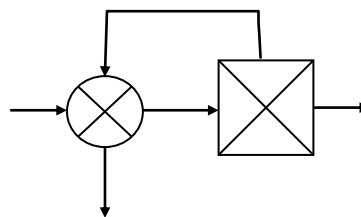
3. Паралельний:



4. Зворотній (рецикл):



5. Перехресний:



При послідовному технологічному зв'язку потоки проходять крізь кожний елемент не більше одного разу. Послідовний технологічний зв'язок дозволяє підвищити ефективність групи технологічних операторів.

Послідовно – обводний технологічний зв'язок є ускладненим варіантом послідовного зв'язку. Цей зв'язок використовують у всіх технологічних лініях (схемах) харчових виробництв з метою підвищення продуктивності окремих технологічних операцій, або з метою організації безпечної експлуатації обладнання.

Паралельні технологічні зв'язки застосовують для підвищення продуктивності при одержанні із багатьох видів сировини одного цільового продукту. Або при одержанні з одного виду сировини декількох видів продуктів.

Паралельні технологічні зв'язки найчастіше можна зустріти, коли вони застосовані у схемах для сполучення елементів системи, що працюють у різних режимах і з різною продуктивністю.

Зворотній технологічний зв'язок характеризується наявністю зворотного технологічного потоку. Цей зв'язок застосовують для розв'язування задач найповнішого використання сировини або енергії, інтенсифікації процесу і створення (найкращих) задовільних технологічних режимів.

При розгляді систем зі зворотними технологічними зв'язками розрізняють прямі (вхідні і вихідні) потоки, головний (з'єднуючий усі потоки) і зворотній (рецикл) потік. Системи зі зворотнім зв'язком можуть охоплювати групи послідовно і паралельно працюючих елементів системи.

Перехресні технологічні зв'язки застосовують для більш ефективного використання енергії. Наприклад, використання тепла продукту на нагрівання сировини, тощо.

Дослідження характеру технологічних зв'язків системи показує, яку дію на якість функціонування системи виявляє спосіб з'єднання елементів між собою.

Ефективність функціонування технологічної системи можна підвищити:

1) шляхом покращення показників якості функціонування основних елементів технологічних операторів і зміною технологічних зв'язків між існуючими в системі технологічними операторами;

2) уведенням додаткових допоміжних і основних технологічних (елементів) операторів і створенням нових технологічних зв'язків.

Ці ж заходи можна рівною мірою віднести для підвищення ефективності функціонування технологічної системи та на інших ієрархічних рівнях.

З огляду на особливості структури технологічні системи розділяють на розімкнуті і замкнуті.

Технологічна структура розімкнутих систем характеризується наявністю різних комбінацій послідовних, паралельних і послідовно–обводних (байпасних) технологічних зв'язків між елементами системи. В розімкнутих системах технологічні потоки усіх хімічних компонентів проходять через будь–який елемент системи лише один раз.

Замкнутими називають технологічні системи, що містять принаймі один зворотній технологічний зв'язок.

Цей зворотній технологічний зв'язок об'єднує деяку групу елементів в замкнутий контур.

Замкнуту систему вважають простою, якщо при обході контуру, утвореного головним и зворотнім технологічним потоками системи, жоден елемент не зустрічається двічі. Замкнуті багатоконтурні технологічні системи складаються із сукупності деяких взаємозв'язаних простих замкнутих підсистем, які містять принаймі один загальний елемент або один загальний технологічний потік.

Вибір технологічної структури, яка забезпечує оптимальні показники ефективності функціонування системи, є важливим етапом в проектуванні нових і реконструкції існуючих харчових виробництв.

Технологічна схема. На технологічній схемі системи кожний елемент зображують у вигляді умовного позначення, а технологічні зв'язки зображують направленими лініями зі стрілками. Звичайно технологічна схема системи містить наступну інформацію:

- про хімічний склад вхідної сировини, проміжних і кінцевих продуктів;
- про типи і спосіб з'єднання елементів;
- про послідовність окремих технологічних процесів;
- про конструктивні особливості елементів системи.

Тобто, елементи ТС на технологічній схемі зображують таким чином, щоб мати уявлення про їх габарити і конструкцію, їх стан.

Технологічні схеми досить зручно використовувати для опису структури системи у інформаційних моделях.

Структурна схема – це таке наочне графічне зображення системи, котре містить елементи у вигляді блоків, які мають декілька входів і виходів, а технологічні зв'язки між ними, що указують напрямок руху матеріальних і енергетичних потоків в системі.

У системному дослідженні структурні схеми знайшли поширення через теорію графів. (структура потоків).

Функціональна схема системи показує технологічні зв'язки між основними підсистемами певного виробництва, кожна з яких виконує якусь із основних технологічних операцій:

Функціональна схема дає узагальнене уявлення про процес функціонування технологічної системи в цілому і не містить інформації про типи окремих елементів системи.

4.6. Топологічний метод аналізу технологічних систем

Топологічний метод аналізу ТС дозволяє формально визначити функціональний зв'язок між структурою системи та її кількісними характеристиками функціонування у вигляді матеріальних і теплових навантажень на елементи системи.

За допомогою топологічного методу аналізу ТС стає можливим виконувати сумісний розрахунок матеріальних і теплових систем, багатомірних систем рівнянь математичних моделей процесів і системи, вибирати оптимальну стратегію розв'язування задач аналізу функціонування ТС.

Топологічний метод аналізу ТС заснований на розгляді математичних іконографічних моделей системи, якими є потокові, структурні, інформаційні та інші графи системи.

Застосування цих моделей дозволяє великий обсяг існуючої інформації про складну технологічну систему подати у компактній і наочній формі.

4.6.1. Дослідження технологічних систем на основі структурних (топологічних) моделей

Стратегія дослідження технологічних систем заснована на використанні топологічних моделей, що відбивають топологічні особливості систем рівнянь математичної моделі.

Основу аналізу функціонування технологічної системи складає розрахунок матеріальних і енергетичних балансів системи в умовах сталого (стаціонарного) технологічного режиму.

Алгоритм розрахунку балансів технологічної системи формалізує процес складання і розв'язування систем балансових рівнянь і складає умови для автоматизації розрахунково-структурного аналізу ТС з використанням комп'ютерної техніки.

Зокрема, цей алгоритм дозволяє знаходити точки оптимального розміщення контрольно-вимірювальних приладів для контролю за технологічними потоками системи і безперервно одержувати інформацію про стан системи з метою підвищення якості управління технологічними процесами.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. *Наведіть загальні принципи системного аналізу.*
2. *Задачі системного підходу для вирішення проблеми розвитку харчових виробництв.*
3. *Наведіть метод (Панфілова) системного аналізу механізованих поточних ліній харчових виробництв.*
4. *Наведіть методологію дослідження хіміко-технологічних систем (за Кафаровим).*
5. *Які задачі потрібно вирішити, щоб розробити та застосувати нову технологію проектування?*
6. *Що таке «система» і «елементи системи»?*
7. *Наведіть характеристики систем.*
8. *Призначення системи.*
9. *Наведіть критерії за якими система може бути зв'язана з середовищем.*
10. *Властивості відкритих систем.*
11. *У чому основна різниця між відкритими і замкненими системами?*
12. *Наведіть основні властивості хіміко-технологічних систем.*
13. *Предмет системних досліджень.*
14. *Проблеми теорії систем.*
15. *Що таке «системна методологія»?*

16. Наведіть вимоги до системної методології.
17. Наведіть загальну методичку системного дослідження.
18. Що розуміють під терміном «технологічна система»?
19. Яка мета функціонування системи на рівні “Технологічна система”?
20. Показники ефективності функціонування технологічних ліній.
21. Яка мета функціонування системи на рівні “Система організації виробництва”?
22. У чому основна перевага системного дослідження над традиційним?
23. Які проблеми необхідно вирішити при використанні системних досліджень технологічних систем?
24. Наведіть приклад схеми системних досліджень харчових виробництв.
25. З якими трьома основними задачами пов’язаний процес синтезу технологічної системи у загальному випадку?
26. Які основні етапи виділяють при синтезі ТС?
27. У чому полягає кінцева мета етапу синтезу ТС?
28. Які особливості математичного моделювання ТС?
29. Які питання вирішують на етапі «постановка задачі» при математичному моделюванні ТС?
30. Які чотири основні групи виділяють в системі математичного опису елемента системи у загальному випадку?
31. Які задачі розв’язують на етапі «моделювання системи»?
32. Наведіть варіанти розв’язування задачі оптимізації системи?
33. Які фактори ураховують під час складання робочих гіпотез?
34. У чому полягає стратегія прийняття інженерних рішень за допомогою методів математичного моделювання?
35. У чому полягає складання математичного опису ТС?
36. Що входить до системи математичного опису технологічного об’єкту?
37. Перелічіть основні вимоги до математичних моделей.
38. Які види моделей використовують для моделювання складних технологічних систем та їх елементів?
39. Наведіть коротку характеристику основних видів математичних моделей.
40. Які особливості моделювання структури технологічної системи?

Розділ 5

КОМПЛЕКС КРИТЕРІВ ЯК ОСНОВНИЙ МЕТОД ТЕХНІЧНОЇ ТВОРЧОСТІ

Творчий підхід у процесі проектування завжди має певний рівень ризику через необхідність постійно вибирати те чи інше рішення.

Кожна задача, що розв'язується у процесі проектування, вимагає серед низки альтернативних рішень вибрати найбільш прийнятне.

Під час своєї діяльності проектувальники

- змінюють властивості й особливості існуючих технічних чи технологічних рішень (параметри вхідних потоків, режими технологічних процесів, нові матеріали, нова структура потоків, нова організація процесу тощо);

- уводять нові технічні засоби (апарати відомі або спеціально розроблені, обладнання, що забезпечує реалізацію нового винахідницького рішення та ін.);

- вилучають надлишкові або шкідливі засоби тощо.

Як видно, розв'язуючи такі задачі проектувальники мають вибирати, відповідаючи на запитання:

- змінювати чи ні і як?

- уводити чи не уводити, а якщо уводити, то що?

- вилучати чи змінювати, або не вилучати, а лише змінити?

і т. ін.

Отже проектувальник завжди стоїть перед вибором: робити чи не робити?

Можна зробити вибір суб'єктивного рішення, що базується на інтуїції та досвіді, або розумне рішення, що спирається на раціональну основу (усвідомлену і обґрунтовану).

Раціональне рішення можливе тільки з використанням певних критеріїв, як основи оцінки під час вибору кроку наступної дії проектування.

Критерії можуть служити:

- основою оцінки;

- уточнювати опис задачі;

- орієнтувати (спрямовувати) проектувальну діяльність.

Використання раціонального комплексу критеріїв складає основний метод технічної творчості.

5.1. Вибір критеріїв

Як вважають проєктувальники, вибір критеріїв повинен відбуватися з використанням певних закономірностей.

Випадковий вибір критеріїв найчастіше призводить до випадкових рішень, серед яких можуть бути “зіркові”, але з надзвичайно малою вірогідністю. Критеріями часто виступають суб’єктивні ствердження, наприклад такі як “це мені не подобається” або “це мене не переконує”. Якщо такі твердження висловлюються проєктувальниками з великим досвідом роботи та на інтуїтивному рівні, то далі слід очікувати обґрунтування і навпаки. Якщо причиною таких тверджень є їх емоційне сприйняття без досвіду роботи, то такі оцінки просто не розумні.

Отже правильність вибору критеріїв завжди повинна бути обґрунтованою. Тому проєктувальники користуються методами вибору, в основу яких покладені відповідні принципові міркування.

З теорії систем відомі основні проблеми: побудова і управління.

Побудова систем, головним чином, вирішується на етапах проєктування (технологія + структура) і конструювання.

У цьому випадку основним об’єктом оцінки проєктувальників є:

1) Технологічна система як основа функціонування технічного засобу.

2) Конструкція, що регламентує виготовлення технологічної лінії (апаратів, з’єднуючих елементів та ін.).

Вибирається комплекс критеріїв з метою досягти оптимальне рішення, яке у свою чергу залежить від оптимальності вибору критеріїв.

Отже, які критерії – такі будуть система і конструктивне рішення.

Функціональне (дійове) значення критеріїв пов’язане з визначенням послідовності процедур, в результаті виконання яких досягається оптимальне рішення.

5.1.1. Принципове підґрунтя для вибору критеріїв

Принциповими міркуваннями в проєктуванні і конструюванні є усвідомлення доцільності створення технологічної системи. У зв’язку з цим виникають два питання:

1) виходячи з яких міркувань створюється технологічний засіб (система)?

2) виходячи з яких міркувань створюється конструкція технологічної системи?

Обґрунтовуючи доцільність створення технологічного засобу, слід усвідомлювати, що нові системи створюються з метою задоволення

постійно зростаючої потреби людини, що є способом забезпечення нових якостей існування людини, розвитку суспільства, культури.

Спираючись на такі міркування можна сформулювати два принципових видів обґрунтування доцільності проектування, якими є:

- 1) обґрунтування доцільності існування чогось нового;
- 2) обґрунтування доцільності розвитку чогось існуючого.

Недоліки у виборі такого обґрунтування очевидні на ускладненні екологічного стану великих міст або довкілля заводів.

З вищенаведених обґрунтувань витікають наступні критерії:

- критерій соціально–економічної адекватності;
- критерій усунення надлишковості.

5.1.2. Критерій соціально–технічної адекватності

Відносини між людиною і технічним засобом можна описати в такий спосіб:

- вплив людини на технічні засоби виявляється в діяльності, спрямованій на їх виробництво й експлуатацію;
- властивості й особливості технічних засобів впливають на людину.

З цих очевидних тверджень можна зробити висновки, що з'ясовують коло питань, зв'язаних із критерієм соціально–технічної адекватності:

- неприпустиме додавання технічним засобам властивостей, що не впливають з їхніх відповідних особливостей і не можуть відповідати потребам людини;

- головне джерело незадовільного використання технічних засобів полягає у частинному проектуванні, що не охоплює цілісно проблем потреби (шкоду можна звести до мінімуму шляхом системного проектування);

- додавання усе більшого значення технічним засобам, так само як і ефективного взаємозв'язку людини з його оточенням, вимагає заміни частинного проектування проектуванням системним.

Існують відносини між технічними засобами та їх творцями, виготовлювачами, споживачами й особами, не обізнаними про зазначені відносини. Цілісно розуміючи взаємозв'язок людини з технічним засобом, варто розглядати всілякі обставини цього зв'язку.

У процесі створення системи й конструкції як логічних основ існування технічного засобу існують інтелектуальне й емоційне відношення творчої особистості до того, що вона створює. Тільки виконавець у буквальному значенні цього слова не зв'язаний емоційно зі своєю справою. Творча особистість зв'язана не тільки зі своєю

безпосередньою справою, наприклад із системою, конструкцією, але й також з майбутнім технічним засобом, що у момент створення системи і конструкції існує тільки потенційно. У системному розумінні критерію соціально–технічної адекватності варто враховувати факт особистої потреби у творчості як самовираження розвитку особистості, а також враховувати соціальне значення цієї творчості.

Існує зв'язок між творцем і технічним засобом у процесі його створення; цей зв'язок має велике значення, тому що обумовлює успіх роботи.

На успішність функціонування технічного засобу істотний вплив робить і обслуговування в процесі експлуатації.

Найбільш відчутні відносини існують між технічним засобом і людиною, що безпосередньо використовує цей засіб.

Отже, в широкому розумінні необхідно завжди пам'ятати, що технічні засоби створюють техносферу, що складає частину матеріального оточення людини і тим самим впливає на його поінформованість або непоінформованість. Цей вплив постійний досліджується.

З'ясування всіх цих відносин складає перший крок на шляху підвищення адекватності технічних засобів.

У поняття адекватності ми включаємо довговічність технічного засобу, а також умови, ефективність і надійність його дії.

Поняття адекватності сприяє виявленню елементів комплексу критеріїв:

- ефективність дії (функціонування) технічного засобу, обумовлена критеріями дії;

- умови дії, описувані критеріями встановлення умов, як основ оцінки відповідності проекту реальності;

- довговічність матеріального комплексу, що складає технічний засіб, тобто передбачуваний термін або число циклів дії;

- надійність ефективної дії при закладеній довговічності й заданих умовах.

Для штучних матеріальних комплексів абсолютна надійність неймовірна. Слід усвідомлювати, що будь–який технічний засіб зрештою відмовить. Використовуючи термін “надійність” як істотний критерій адекватності, ми будемо розглядати відносну надійність.

Ми не можемо вимагати абсолютної надійності від створюваних нами матеріальних комплексів виробів. Абсолютно надійно може бути тільки те, що ми створюємо в наших думках і міркуваннях, тобто абстрактно, і лише те в чітко позначених границях.

Критерії ефективності дії роблять можливим формальне визначення дії.

У рамках обґрунтування необхідності створення технічного засобу найбільше значення мають критерії дії. Проектувальникові слід завжди пам'ятати про те, що критерії повинні бути відображенням способу задоволення потреби.

Правильність і однозначність визначення критеріїв мають важливе суспільне, господарське, а також операційне значення в проектуванні й конструюванні; останнє безпосередньо впливає на ефективність інженерної праці.

Зміна умов дії може означати зміну адекватності.

Умови дії, часто недооцінювані проектувальниками, є істотним елементом поняття адекватності. При зміні умов дії ефективність і надійність дії, як і довговічність технічного засобу, можуть виявитися іншими. Засобами встановлення умов дії можуть бути:

- фізичні параметри;
- опис зовнішніх умов, відповідно й однозначно сформульованих.

Проектувальник має право вимагати зміни умов дії технічних засобів, якщо це здійснено.

До зовнішніх умов відносяться:

– не залежні від проектувальника умови, які потрібно вчасно розпізнати на рівні, що відповідає їхньому впливові на дію технічного засобу, або

– умови, частково або цілком залежні від проектувальника, якщо вони входять у сферу проектування.

Дослідження умов дії технічного засобу повинне виявляти як те, що не залежить від проектувальника, так і те, що від нього залежить. Необхідно враховувати можливість змін в умовах. Занадто часто заздалегідь передбачається незмінність комплексів, що складають суттєві умови дії.

5.1.3. Надійність ефективності задоволення потреби

Вивчаючи проблему надійності одержання бажаного результату, використовують спрощену модель, у яку входять:

- технічний засіб, призначений для задоволення потреби;
- оточення, що впливає на ефективність технічного засобу в процесі експлуатації;
- оператор, керуючий технічним засобом;
- споживачі результату дії технічного засобу;
- оточення, що піддається впливові технічного засобу, у тому числі люди, що можуть або безпосередньо, або побічно відчувати ефект його дії в просторі і часі.

Математична модель задачі базується на спрощених положеннях. Це спрощення визначається умовою незалежності факторів, що беруть участь у моделі.

Елементами моделі є:

- технічна надійність технічного засобу в лабораторних умовах;
- надійність (гарантія) відсутності шкідливого впливу оточення на технічний засіб, тобто надійність дії технічного засобу у функціональних умовах оточення;
- надійність ефективної дії оператора, що керує технічним засобом;
- надійність ефективного задоволення потреби з погляду конкретних умов, дійсних для часу задоволення потреби. Ця надійність залежить від ймовірних відносин між споживачами результату дії й технічним засобом;
- надійність (гарантія) відсутності шкідливого впливу технічного засобу на оточення, що могло б знизити суспільну корисність засобу.

У наш час облік всіх суттєвих факторів і ефектів, зв'язаних із процесом задоволення потреб за допомогою технічних засобів, представляється з позицій екології необхідним.

5.1.4. Надійність нешкідливості впливу оточення

Дослідження адекватності технічних засобів як функції оточення веде до виявлення численних задач, зокрема:

- температурних умов;
- корозії й інших результатів зовнішніх впливів на структуру технічних засобів;
- ступеня герметичності відповідних об'єктів;
- транспортних умов;
- дій людей, випадково (або навіть навмисно) що шкодять;
- атмосферних (наприклад, ураган) і геофізичних (сейсмічних або тектонічних) явищ.

Звертаючи увагу лише на деякі можливі шкідливі впливи оточення на технічний засіб, варто визнати значення:

- прагнення до відшукування всіляких значимих ситуаційних даних, що сприяють визначенню зовнішніх умов, у яких має працювати зпроектований і зконструйований технічний засіб;
- права зміни ситуації, т.обто права робити зміни в оточенні для того, щоб збільшити міру адекватності.

5.1.5. Надійність ефективної дії оператора

Як показують численні дослідження, багато машин мають конструкцію, що утруднює ефективну дію оператора. Дефекти конструкції створюються незадовільним конструктивним видом машин і неоптимальним комплексом розмірів. Найсуттєвіший вплив у цьому плані роблять геометричні конструктивні характеристики, хоча не слід упускати з виду й значення конструктивних характеристик речовини (матеріалу).

Виникла велика область досліджень і технічної творчості за назвою “технічна естетика”. Цій області ще була дана назва "дизайн" (запозичена з англійського терміна дизайн, що відноситься до проектування і конструювання).

Хоча в технічній естетиці робиться акцент на ергономічні відносини в системі “людина – машина”, усе-таки не забуваються й фактори, що не мають безпосереднього значення для фізичної праці. При цілісному розумінні цих відносин виявляються й духовні фактори – виникає проблема краси в техніці.

5.1.6. Ергономічні критерії

Ергономіка – область знань, у якій формулюються умови оптимізації відносин між людиною і машиною в трудовому процесі.

Ергономіка вказує на вимоги, які необхідно приймати до уваги при проектуванні і конструюванні, а отже, вимоги, що висувають до технічних систем і конструкцій. Найбільш очевидні конструктивні вимоги, серед яких на перше місце висуваються критерії, що стосуються гігієни і безпеки праці.

Ергономічні критерії обґрунтовані доцільністю існування і доцільністю розвитку. Вони мають також суттєве значення стосовно доцільності суспільних витрат а й, отже, стосовно економічної доцільності.

У рамках ергономічних теорій варто провести класифікацію властивостей і особливостей штучних матеріальних комплексів. Ергономічні критерії мають істотне значення як конструктивні критерії. Назвемо лише деякі задачі, зв’язані з набором конструктивних ергономічних критеріїв, обов’язкових для проектувальника і конструктора, а також для керівників експлуатації технічних засобів:

- операційні умови на робочому місці, що визначають спосіб дії психосоматичних (сенсомоторних) органів оператора;
- фактори впливу навколишнього середовища: температура, вологість, освітленість, колір й віддзеркалення світла (відблиски), радіація,

акустичні ефекти, пил, рух предметів і людей біля робочого місця оператора, темп, якому повинне підкорятися тіло оператора, і т.ін.;

– вплив технічного засобу й оточення з психологічної точки зору.

Критерії краси технічних засобів установити важко, але проблема краси складає суттєвий елемент методології технічного проектування.

Турботу про красу технічних засобів можна обґрунтувати в такий спосіб:

– людина не повинна почувати дискомфорту при контакті з технічними засобами – особливо на робочому місці, де вона безпосередньо залежить від машини;

– технічні засоби своєю формою, зовнішнім виглядом повинні інформувати про своє операційне призначення й повинні викликати особливе відношення оператора, що сприяє успішному керуванню й утриманню в порядку даного засобу;

– технічні засоби створюють техносферу, що у наш час складає суттєвий елемент світу, у якому живе людина; цей елемент викликає різні психічні стани людини й тим самим впливає на її розвиток.

Необхідно, однак, на самому початку звернути увагу на те, що краса має двояке значення й може бути використана також на шкоду людині. Так нерідко відбувається в умовах приватного підприємництва. Неважко привести факти додавання виробові спекулятивно–привабливого зовнішнього вигляду, що спрощує продаж, адже не кожен покупець пам’ятає про те, що “не всі те золото, що блищить”.

На противагу такому комерційному підґрунті існує правило, що насамперед необхідно піклуватися про красу тих технічних засобів, характерною рисою яких є висока соціально–технічна адекватність, що задовольняє критеріям доцільності існування і доцільності, розвитку.

Керуючись ергономічними критеріями, необхідно визнати важливість краси машини з погляду безпосереднього зв’язку машини з обслуговуючим персоналом. Красива машина (або взагалі технічний засіб) – об’єкт, більшою мірою заслуговує ретельного обслуговування.

Краса машини і приміщень зменшує небезпеку бездушного зв’язку людини з технічними засобами.

Ми розрізняємо красу власну (органічну) і красу втілену:

– краса може бути наслідком конструктивних характеристик, підібраних з погляду суцього технічної мети, тобто безпосередньо операційної дії;

– краса може бути логічною метою естетичних критеріїв, що створюють основу вибору конструктивних характеристик, насамперед конструктивного виду.

Красу, що виникає з чисто технічної сутності, називають власною (органічною) красою. Красу як ефект конструктивних характеристик, підібраних з антропологічної або соціологічної точки зору, називають утіленою красою.

Як завжди, співробітництво в технічній творчості має істотне значення. Необхідно включати конструкторів (дизайнерів) у процес створення технічних засобів.

У конструкції машин великого значення набуває підбір пофарбованих і блискучих (особливо хромованих) поверхонь.

Усе частіше використовуються пластмасові покриття. Цю тенденцію визначають:

- критерії захисту від шкідливих зовнішніх впливів, наприклад, від корозії;

- операційні критерії – виділення типу, груп або однорідних функціональних елементів; наприклад, жовта фарба використовується для позначення транспортних груп, червона вказує на місце змащення і т.д..

Естетична гармонізація фарбування функціональних елементів об'єкта вимагає певних знань в області колористики, що керується правилами, установленими дослідним шляхом з урахуванням психологічних досліджень. Правила, що використовуються художниками–конструкторами, відповідають принципів мінімізації витрат праці людини.

5.1.7. Проблема надійності задоволення потреби

Проектувальник може лише порівняти гіпотези, що відносяться до майбутнього процесу задоволення потреби. Ці гіпотези спираються на критерії, у значній мірі обумовлені оцінкою того, що може здійснитися через певний проміжок часу.

Технічна надійність визначається експериментально, звичайно значно раніше введення технічного засобу в експлуатацію; ці експерименти проводяться в умовах, що відповідають вихідним критеріям. Такий підхід може вважатися певного роду ідеалізацією навіть тоді, коли намагаються моделювати експлуатаційні умови.

Перебіг часу спричинює зміни розуміння потреб, тому що відбувається зміна умов життя.

5.1.8. Потреба й антипотреба

Усвідомлюючи, що в результаті функціонування різного роду технічних мегакомплексів може виникнути погроза для їх. здоров'я й

життя, люди починають звертати увагу на екологічні проблеми. Формально ми врахували ці проблеми, виділяючи надійність нешкідливості впливу технічного засобу на навколишнє середовище.

Оточення, що широко розуміється, тісно зв'язане з задоволенням актуальних і потенційних потреб. Використовуючи нерозважно (або недостатньо критично) різні елементи техносфери, ми руйнуємо частину середовища і тим самим зменшуємо можливість задоволення потреб у найближчому і віддаленому майбутньому. Необхідність раціонального аналізу надійності дії техносфери жадає від інженерів, економістів і насамперед від проєктувальників зовсім нового підходу до технічних проблем. У цьому плані необхідні великі дослідження і відповідні логічні та математичні висновки.

Мінімізація шкідливого впливу технічних засобів на середовище представляє соціальну необхідність.

5.1.9. Критерій усунення надмірності

Критерій усунення надмірності має своє мотивування, крім загальних розумінь, також і в обґрунтуванні доцільності створення виробу, а саме в економічному обґрунтуванні або, в узагальненому розумінні, – у соціально–економічному аналізі вартості.

Для додаткового підтвердження доцільності використання цього критерію сформулюємо наступні тези:

- ріст без обмежень веде до надвиробництва, що викликає антипотреби;

- приватне проєктування веде до створення технічних засобів, число яких можна зменшити шляхом скорочення елементів і цілих груп;

- зневага критеріями маси й енергії привела до надмірної витрати сировинних і енергетичних ресурсів, що стало також причиною надмірної маси технічних засобів і надмірної потужності енергетичних установок.

Не потрібно навіть бути інженером, щоб помітити, скільки зайвих речей у нашому оточенні. Це зв'язане з явищем, яке можна охарактеризувати як виродження культури. Індивідуальна ненаситність і суспільні споживчі тенденції повинні стати предметом критичних досліджень психологів і соціологів в ім'я доцільності існування й розвитку.

Подальший прогрес можливий завдяки розвиткові свідомості.

Розумне скорочення маси, енергії й дій пропорційно використовуваним інформаційним ресурсам.

Найбільші можливості криються не в матерії, а в інформації, що на протипагу матеріальним об'єктам не має меж.

Критерій усунення надмірності повинний бути використаний на кожній стадії процесу задоволення потреб; об'єктами його застосування можуть і повинні бути:

- засоби задоволення потреб;
- способи задоволення потреб;
- кількість планованих і проєктованих технічних засобів;
- складність проєктованих і конструйованих засобів;
- кількість конструкційних матеріалів, сировини і напівфабрикатів;
- операції виготовлення, обумовлені конструкцією виробу;
- потужність приводів і енергетичних систем;
- області простору, займані технічними засобами;
- проєктно–конструкторські дії;
- проєктно–конструкторська документація;
- організаційні заходи, насамперед різного роду формальні операції.

Вичерпний перелік подібного роду залежить лише від ступеня деталізації розглянутого предмета.

З'ясування проєктувальниками і конструкторами, а також економістами важливості критерію усунення надмірності може привести до значних методологічних і практичних результатів.

5.1.10. Мінімізація сукупного нестатку

Матеріальні умови життя на Землі, залежать від того:

- як використовуються різні ресурси, з яких ми створюємо техносферу;
- як використовуються сировина й енергетичні ресурси води, матеріалів, сонячного випромінювання й вітру;
- яким чином оцінені потреби, що відчуваються суспільством;
- якою мірою використана наявна інформація про результати використання різних технічних засобів;
- якою мірою розвинута тяга до наукових і практичних знань, а також які можливості й уміння використовувати ці знання.

Ефективне засвоєння і використання інформації забезпечують можливість розсудливого і справедливого задоволення потреб. Так, усвідомлення факту обмеженості природних ресурсів, того, що в деяких дослідженнях було навіть назване “границею росту”, веде до кардинального висновку, який може бути визнаний у якості одного з визначальних критеріїв – це мінімізація сукупного нестатку.

5.2. Обґрунтування доцільності створення виробу

Сформулювати розглянуту проблему можна у формі питання: на яких підставах створене й існує виріб? Обґрунтуванням доцільності створення виробу є виконання ним функції технічного засобу – це і є відповідь на перше питання: “Навіщо?”. Аналізуючи всі три питання, можна прийти до висновку, що обґрунтування доцільності створення виробу повинне складатися з:

- обґрунтування технічної доцільності;
- економічного обґрунтування;
- обґрунтування можливостей виготовлення.

Ретельне визначення потреби, а також можливостей проектування і виготовлення повинне бути основним методологічним правилом.

Логічний зв'язок між обґрунтуваннями і приватними питаннями можна описати у формі безпосередніх відповідей на ці питання:

- доцільність створення виробу улаштовується передбаченням можливості реалізації технічної дії, що має метою задоволення виявленої і визнаної потреби;

- використання виробу як технічного засобу економічно обґрунтоване, тобто витрати на розробку й виготовлення, а також експлуатаційні витрати вважаються прийнятними стосовно результату, що досягається;

- виготовлення виробу можливе відповідно до розробленої конструкції в бажаний термін на даному заводі.

Відомі технічні починання, що не піддаються негайному економічному обґрунтуванню.

Комплекс обґрунтувань доцільності створення виробу формулюється за умови соціально–технічного розуміння задач задоволення потреб за допомогою технічних засобів. Проблема ж полягає в тому, як обмеженими ресурсами задовольнити постійно зростаючі потреби. Тому економічність повинна завжди розглядатися в зв'язку з іншими аспектами проблеми.

Слідом за обґрунтуванням технічної доцільності, першорядним з погляду потреби як безпосередньої спонукальної причини, йде економічне обґрунтування. У конструкторській практиці це обґрунтування випереджає обґрунтування можливості виготовлення, з якого випливають критерії виготовлення. Дуже часто, належним чином керуючись виробничими критеріями, можна одночасно забезпечити виконання критеріїв, виведених з економічного обґрунтування. Обґрунтування доцільності створення виробу є основою підбору конструкційних критеріїв.

5.2.1. Критерії функціонування

Критерії дії (функціонування) займають суттєве місце серед конструкційних критеріїв.

Обґрунтування технічної доцільності є основою формування критеріїв функціонування, оскільки це обґрунтування вказує на необхідність прийняття до уваги системи, що створюється насамперед як логічний наслідок критерію соціально–технічної адекватності. При цьому майже завжди головні обґрунтування забезпечують виявлення критеріїв функціонування.

У деяких теоретичних підходах критерії дії називаються "показниками". Критерії функціонування є логічним наслідком виявлення потреби з погляду ефективності її задоволення.

Критерії функціонування кількісно визначають сутність дії технічних засобів. Звичайно вони є основними передумовами конструктивних рішень, що складають проект, сутність якого виражає система або елемент системи

5.2.2. Критерії технічної адекватності

Цей критерій охоплює:

- ефективність функціонування, обумовлену критеріями функціонування;
- умови функціонування, встановлені в процесі проектування, що передують конструюванню;
- довговічність виробу в процесі експлуатації, установлену також у процесі проектування;
- надійність дії технічного засобу як конструктивну передумову, сформульовану в результаті аналізу за критерієм соціально–технічної адекватності.

Критерій технічної адекватності має суттєве значення в технічних діях, до яких ми зараховуємо:

- створення конструкції;
- дослідження прототипу;
- складання посібників з експлуатації;
- дослідження технічного засобу в експлуатації або в умовах імітації експлуатації.

5.2.3. Критерії, що впливають з економічного обґрунтування

Критерій мінімізації сукупного нестатку при глобальному підході стає фактором економічного характеру.

В даний час усе більшого значення набувають:

- економія сировини;
- економія енергії.

Це найбільш корисні в операційному сенсі й найкраще піддаються кількісній оцінці конструкційні критерії, що впливають з економічного обґрунтування.

Критерії економії, що вимагають найбільш ефективні використання сировини й енергії, уже зараз, і тим більше в перспективі, також здобувають соціальне значення. Різновидом критерію економії енергії є критерій питомої витрати енергії, що використовується як основна міра оцінки економічності роботи машин. Критерії економії сировини й енергії, власне кажучи, впливають із критерію усунення надмірності.

З економічного обґрунтування, так само як і з вихідних обґрунтувань, впливає дуже складна в реалізації задача загальної економії, що відноситься до витрат (у тому числі і безпосередньо фінансовим) на:

- дослідження потреб;
- створення визначених властивостей технічних засобів і зв'язані з цим фундаментальні, а також прикладні дослідження;
- виготовлення;
- дослідження (іспит) технічних засобів;
- експлуатацію.

У наш час часто висувається вимога автоматизації, а критерії пристосовують її до задач. Автоматизація повинна бути логічним наслідком вимоги адекватності технічних засобів, причому в першу чергу – соціально-технічної адекватності. Тому автоматизацію варто розуміти як засіб поліпшення умов задоволення потреб.

Вимога автоматизації часто обґрунтовується економією людської енергії. Але виявилось, що це зовсім не очевидно. Тут необхідно врахувати:

- витрату творчої і виробничої енергії, необхідної для виготовлення автоматизованих комплексів;
- психофізіологічну напругу операторів, що працюють біля пультів керування автоматичними комплексами.

Дослідження психологів і фізіологів показують, що витрата енергії оператора біля пульта керування деяких комплексів і оператора пневматичного молоту приблизно однакова.

5.2.4. Виробничі критерії

Часто розглядаються критерії, виведені з обґрунтування технологічності, тобто “обґрунтування можливостей виготовлення”. При визначенні й підборі критеріїв виготовлення (виробничих критеріїв) можуть допомогти наступні питання:

– які технічні засоби (заводи, цехи, верстати) є для розгортання виробництва сконструйованого виробу?

– які ще є необхідні технічні засоби, крім наявних, тобто що ще варто забезпечити?

Фактичний стан не повинний визначати можливості виготовлення. В області техніки виготовлення не бумало б прогресу, якби проектувальники і конструктори не домагалися раціональних змін у засобах, методах або техніці виготовлення. У світлі цього конструктор зобов'язаний враховувати в конструкції існуючі можливості виготовлення, однак одночасно має право вимагати більш широких можливостей виготовлення, чим існуючі.

Численність виробничих критеріїв призводить до багатофакторного (багатокритеріальної) оптимізації.

Виробничі критерії мають значення обмежень при багатофакторній оптимізації. Конструктивне значення виробничих критеріїв однозначне.

Від підбора цих критеріїв залежать:

- конструктивний вид виробу;
- комплекс розмірів.

Конструктивний вид логічно впливає не тільки із системи, але також і з виробничих критеріїв.

У конструюванні виступає насамперед задача перебування геометричних конструктивних характеристик у взаємозв'язку з конструктивними характеристиками матеріалу конструкції.

Існує чіткий зв'язок між конструктивним видом і виробничими критеріями.

Рішення про закупівлю матеріалів або напівфабрикатів – задачі складні. У них виявляються загальні організаційно–економічні критерії або навіть критерії стратегії виробництва. У таких випадках необхідне взаєморозуміння між конструктором і виготовлювачем. Завжди і скрізь взаєморозуміння являє собою фактор інтеграції складної дії.

Критерії утворюють ранжирований комплекс; таким чином, ранжирування також служить обґрунтуванням, як і дії, сутність яких полягає у використанні критеріїв.

5.2.5. Вимоги конкретних споживачів

Вимоги споживачів технічних засобів складають суттєвий елемент передумов проектування і конструювання.

Проектувальникам і конструкторам необхідні однозначно сформульовані вимоги конкретних споживачів. Перелік таких вимог повинний включатися в комплекс критеріїв.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:

- 1. Що необхідно при складанні основного методу технічної творчості?*
- 2. Вибір критеріїв у методі технічної творчості.*
- 3. Сутність критерію соціально–технічної адекватності.*
- 4. Сутність критерію усунення надлишковості.*
- 5. Наведіть коротку характеристику ергономічних критеріїв.*
- 6. Обґрунтування доцільності створення виробу.*
- 7. Наведіть сутність критеріїв функціонування.*
- 8. Наведіть сутність критеріїв технічної адекватності.*
- 9. Наведіть сутність критеріїв, що впливають з економічного обґрунтування.*
- 10. Наведіть сутність виробничих критеріїв.*

ЧАСТИНА 3. СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

ВСТУП

Стрімкий розвиток комп'ютерної техніки, котрий спостерігається в останні роки, призвів до того, що усе важче знайти сферу економіки, науки, техніки, а також суспільного життя, де не використовувалися б ПК. Значну роль комп'ютери відіграють сьогодні і в процесі проектування технологічних систем харчової галузі. Технологічний рівень найбільш розвинених у промисловому відношенні країн дозволяє налаштовувати масове виробництво комп'ютерів разом з відповідним математичним і програмним забезпеченням та застосовувати їх майже у всіх сферах людської діяльності. Завдяки доступній ціні, габаритам і умовам експлуатації можна установити комп'ютери безпосередньо на робочому місці конструктора чи технолога, у виробничих цехах, в складських приміщеннях, в сфері обслуговування і навіть в самих машинах. Перед такою ситуацією стоїть і харчова промисловість, де, саме з метою задоволення потреби їх реконструкції і технічного та технологічного переозброєння, ефективне використання комп'ютерів стає необхідністю.

Технологічні процеси харчових виробництв включають багато ручних операцій і в проектах повинні бути передбачені їх максимальна механізація і автоматизація. Сьогодення вимагає підвищити техніко-економічний рівень і якість проектів. Це стає можливим тільки завдяки створенню принципово нової технології проектування, яка передбачає багатоваріантне опрацювання інженерних рішень і вибір з них оптимального. У цьому випадку число математичних розрахунків і операцій пошуку інформації зростає за геометричною прогресією у порівнянні з кількістю варіантів, що аналізуються. У цьому разі проектувальник повинен застосовувати комп'ютер.

Вітчизняна і закордонна практика виявила неминучість поетапної автоматизації процесів проектування. На першому етапі людина використовувала окремі програми чи пакети прикладних програм (ППП) для розв'язання задач розрахункового характеру; на другому – створила системи автоматизованого проектування (САПР) з локальними базами даних і наборами ППП; на третьому – розробляє інтегровані САПР з загальною (загально-галузевою) базою даних і набором великої кількості програмних комплексів, що розв'язують складні проектні задачі з використанням ПК і комп'ютерних мереж.

Автоматизація проектування харчових підприємств зараз знаходиться на переході від другого до третього етапу стосовно створення

САПР. Головною перешкодою на шляху інтенсифікації цього переходу є суб'єктивний фактор.

Проектувальник повинен знати усі можливості сучасних систем автоматизації проектування. Часто можна спостерігати помилковий підхід, який полягає у недооцінці чи переоцінці комп'ютера як інструмента проектувальника. Не слід обмежувати роль ПК до "продуктивного калькулятора", тобто до автоматизації традиційних інженерних розрахунків. Користь від цього відносно невелика, тому немає сенсу дивуватися, що проектувальники саме так розуміють призначення комп'ютера та не зацікавлені у використанні САПР. Не можна також прагнути до "автоматизації", яка може повністю замінити людину в процесі проектування. При спробі уведення такого "автоматизованого проектування" досягається дещо протилежне творчому за своєю природою процесу проектування.

Правильним підходом до автоматизованого проектування є відповідний розподіл праці між людиною і комп'ютером. Принципи цього розподілу наступні:

- в базі даних комп'ютера зберігається уся документація, машина виконує трудомісткі розрахунки, "переглядає" файли в пошуках необхідної в процесі проектування інформації, генерує і відтворює документацію у вигляді креслень і описів, або запускає програми для управління роботою технологічних процесів (ліній);
- проектувальник формулює задачі, розробляє концепції, використовуючи можливості САПР, знаходить критерії оцінки і приймає рішення.

Автоматизоване проектування можна визначити як технологію використання обчислювальних систем для допомоги проектувальникам під час аналізу, оптимізації, модифікації і прийнятті проектних рішень. Іншими словами, автоматизоване проектування за допомогою комп'ютера (CAD – Computer Aided Design) – це такий процес проектування, в якому комп'ютер разом з програмним забезпеченням є інструментом проектувальника на будь-якому етапі розробки проекту.

До переваг САПР можна віднести:

1. Спрощення вироблення оптимального конструктивного рішення, а тим самим зниження вартості виробництва, експлуатації і досягнення вищої якості технологічних систем.

2. Підвищення продуктивності праці проектувальника. Це досягається завдяки використанню ПК, які, у свою чергу, забезпечують наочний показ об'єкту проектування, його складових частин, елементів, а отже скорочує час, необхідний для синтезу, аналізу і документування проектних рішень.

3. Значне скорочення тривалості проектування, що впливає на зменшення витрат на проектування, а отже і вартості проекту.

4. Покращення якості проекту. САПР відкриває широкі можливості для більш глибокого інженерного аналізу і розгляду більшої кількості альтернативних проектних рішень. Крім того, зменшується кількість помилок проектування завдяки більш високій точності САПР. Усе це разом створює зручні і продуктивні умови для проектування.

5. Звільнення проектувальників від нетворчої рутинної праці, завдяки чому краще використовується їх творчий потенціал і підвищується ефективність праці.

6. Підвищення рівня безпечності, надійності і рівномірності зносу технологічної системи в результаті застосування більш точних математичних моделей і інженерних методів при розробці окремих елементів системи.

7. Удосконалення засобів інформаційного спілкування проектувальників. При використанні САПР можна отримати конструкторські креслення більш високої чіткості, повною мірою дотримуватися вимог стандартів, краще документувати проектні розробки, допускати менше помилок в кресленнях і документах, робити їх більш зрозумілими, розбірливими і естетично досконалими.

8. Розширення області застосування готових проектних рішень завдяки використанню комп'ютерних баз даних і комп'ютерних мереж.

9. Формування бази даних для системи управління виробництвом.

Вигода від застосування САПР значно зростає, якщо автоматизоване проектування поєднане з автоматизованою системою управління технологічним процесом (АСУТП) (CAD – Computer Aided Manufacturing). Об'єднання САПР і АСУТП різко скорочує час між створенням проекту і упровадженням його у виробництво. У цьому разі дешевшим і простішим стає перехід до нових конструктивних рішень, введення змін у ході виробництва, випуск малих партій продукції, або налагодження виробництва за індивідуальними вимогами замовників.

Використання усіх переваг САПР залежить від цілого ряду факторів, серед яких найважливішими є:

- рівень підготовки проектувальників;
- організація проектної установи;
- наявність комп'ютерних засобів проектування (у тому числі і комп'ютерних мереж);
- налагоджений зв'язок з підприємствами галузі.

Розділ 6

ІСТОРІЯ САПР

Інженерна діяльність у сучасних умовах тісно пов'язана з використанням персональних комп'ютерів (ПК) і мікропроцесорів. В останні роки в інженерній практиці обчислювальна техніка широко застосовується для виконання розрахунків, автоматизації проектування, організації й планування експериментальних досліджень, для обробки результатів випробування машин, механізмів, апаратів і для багатьох інших цілей. У цей час інженери будь-якої спеціальності повинні придбати у вузі вміння й навички розв'язку виробничих і наукових завдань за допомогою ПК. Із цією метою в навчальні плани всіх інженерних спеціальностей уведено дисципліни, що забезпечують поглиблене вивчення математики, програмування, обчислювальної техніки, нових інформаційних технологій.

Зараз навчання в технічних вузах поставлене таким чином, що студенти з першого курсу користуються персональними електронними обчислювальними машинами. Тепер маже усі студенти мають у своєму особистому користуванні ПК.

Термін САПР "Система автоматичного проектування" (в англійській нотації CAD) з'явився наприкінці п'ятдесятих років, коли Д.Т.Росс почав працювати над однойменним проектом у Массачусетському Технологічному Інституті (МТІ). Перші CAD- системи з'явилися через десять років.

За останні 25 років CAD – системи, як системи геометричного моделювання, були значно вдосконалені: з'явилися засоби 3D-поверхневого й твердотельного моделювання, параметричного конструювання, був поліпшений інтерфейс.

Незважаючи на всі ці вдосконалення, що стосуються, в основному, геометричних функцій, CAD – системи надають конструкторові слабку допомогу з погляду всього процесу конструкторського проектування. Вони забезпечують опис геометричних форм і рутинні операції, такі як розмірювання, генерація специфікацій і т.п. Ці обмеження й чисто геометричний інтерфейс залишає методологію конструкторської роботи такою ж, якою вона була при використанні креслярської дошки. Розвиток одержали також системи автоматизації проектування технологічних процесів (САРР) і програмування виготовлення деталей на верстатах зі ЧПУ (САМ). Однак, подібно CAD – системам, ці вдосконалення не торкнулися процесу проектування: САРР – системи можуть генерувати технологічні процеси, але тільки за умови попереднього спеціального

опису виробу за допомогою конструкторсько–технологічних елементів. САМ – системою може бути використана геометрична модель САД – системи, але всі функції САРР – системи (проекування технології обробки) – перекладаються на інженера.

Крім проектування, інженерна діяльність пов'язана з інженерним бізнесом і менеджментом. Сюди, зокрема, входять автоматизовані системи керування виробництвом (АСКВ). Ці системи звичайно розвиваються без якої-небудь інтеграції із САРР.

Отже, до останнього часу концепція автоматизації праці конструктора базувалася на принципах геометричного моделювання й комп'ютерної графіки. При цьому системи комп'ютеризації праці конструкторів, технологів, технологів-програмістів, інженерів-менеджерів і виробничих майстрів розвивалися автономно й інженерні знання – основа проектування, залишалися поза комп'ютером. Таке положення не задовольняє сучасним вимогам до автоматизації. Зараз необхідна комплексна комп'ютеризація інженерної діяльності на всіх етапах життєвого циклу виробів, яка одержала назву CALS (Computer Aided Life-cycle System) технології. Традиційні САРР із їхнім геометричним, а не інформаційним ядром, не можуть з'явитися основою для створення таких систем.

Сьогодні кожний виріб у процесі свого життєвого циклу повинне представлятися в комп'ютерній середовищі у вигляді ієрархії інформаційних моделей, що становлять єдине ціле, що й мають співвідпорядкованість.

У промисловому виробництві давно панує тверда конкуренція. Щоб вижити в цих нелегких умовах підприємствам доводиться як найшвидше випускати нові вироби, знижувати їхню собівартість і підвищувати якість. У цьому їм допомагають сучасні системи автоматизованого проектування (САРР), що дозволяють полегшити весь цикл розробки виробів – від вироблення концепції до створення дослідного зразка й запуску його у виробництво. Тим самим значно прискорюється процес створення нової продукції без зниження якості. Тому зараз без САРР не обходиться жодне конструкторське або промислове підприємство. І хоча на частку зазначених систем доводиться лише близько 3% ринку ПЗ, вони відіграють дуже важливу роль, оскільки допомагають створювати товари, без яких неможливо представити наше повсякденне життя: автомобілі, літаки, побутові прилади, промислове встаткування й, отже, є однією з рушійних сил сучасної промисловості й світової економіки.

Термін «САРР для машинобудування» у нашій країні звичайно використовують у тих випадках, коли мова йде про пакети програм для автоматизованого проектування (САД), підготовки виробництва (САМ) і

інженерного аналізу (CAE). Існують САПР і для інших областей – розробки електронних приладів, будівельного проектування.

Ідея автоматизувати проектування зародилася наприкінці 50-х років минулого століття, майже одночасно з появою комерційних комп'ютерів. А вже на початку 60-х її втілила компанія General Motors у вигляді першої інтерактивної графічної системи підготовки виробництва. В 1971 р. творець цієї системи доктор Патрик Хэнретти (Patrick Hanratty) заснував компанію Manufacturing and Consulting Services (MCS) і розробив методики, які склали основу більшості сучасних САПР. Незабаром з'явилися й інші Cad-пакети. У той час вони працювали на мейнфреймах і міні- комп'ютерах і коштували дуже дорого – у середньому 90 тис. дол. за одне робоче місце. Очевидно, що лише великі підприємства могли дозволити собі йти в ногу з часом. Одночасно стали з'являтися й перші САМ-програми, що дозволяють частково автоматизувати процес виробництва за допомогою програм для верстатів з ЧПЗ, і САЕ–продукти, призначені для аналізу складних конструкцій. Так в 1971 р. компанія MSC - Software випустила систему структурного аналізу MSCNastran, яка дотепер займає провідне положення на ринку САЕ.

До середини 80-х років системи САПР для машинобудування знайшли форму, яка існує й зараз. Але поперед них чекало багато цікавих змін. Поява мікропроцесорів поклала початок революційним перетворенням в області апаратного забезпечення – настала ера персональних комп'ютерів. Але для тривимірного моделювання потужності перших ПК не вистачало. Тому в 80-ті роки постачальники «серйозних» засобів автоматизації проектування орієнтувалися на комп'ютери на базі Risc-процесорів, що працювали під керуванням ОС Unix, вони були набагато дешевше мейнфреймов і міні-машин. Паралельно знижувалася вартість ПЗ, і до початку 90-х середня ціна робочого місця знизилася до 20 тис. дол. – САПР ставали доступніше. Але в масовий продукт вони перетворилися лише тоді, коли компанія Autodesk розробила свій знаменитий пакет Autocad вартістю всього 1 тис. дол. Правда, у ті часи ПК були 16-розрядними, і їх потужності вистачало лише для двовимірних побудов – креслення й створення ескізів. Однак це не перешкодило новинці мати величезний успіх у користувачів.

Найбільш бурхливий розвиток САПР відбувалося в 90-х роках, коли Intel випустила процесор Pentium Pro, а Microsoft – систему Windows NT. Тоді на поле вийшли нові гравці «середньої вагової категорії», які заповнили нішу між дорогими продуктами, що мають безліч функцій, і програмами типу Autocad. У результаті склався існуючий й понині розподіл САПР на три класи: важкий, середній і легкий. Така класифікація виникла історично, і хоча вже давно йдуть розмови про те, що грані між

класами поступово стираються, вони продовжують існувати, тому що системи як і раніше різняться й за ціною, і за функціональними можливостями. Слід додати, що крім універсальних САПР також випускаються й різні спеціалізовані продукти, наприклад, для інженерного аналізу, розрахунків трубопроводів, аналізу лиття металів, проектування металоконструкцій і безлічі інших конкретних завдань.

На основі проведеного аналізу структури експертної системи, можна затверджувати, що таке обчислювальне середовище має пряме застосування для інженерної діяльності як засіб автоматизації проектних робіт, якщо проектування ведеться від прототипу, за висхідною технологією або на вищих ієрархічних рівнях тієї або іншої системи проектування. Однак, якщо об'єкт проектування можна формально описати, виникає потреба, з одного боку, використовувати приймання, характерні для інженерної діяльності, а з іншого – залучити знання математиків для використання формальних методів ухвалення рішення. Крім того, подальший розвиток САПР, на думку багатьох розроблювачів, повинне йти по шляху створення обчислювальних систем, які "лояльні" до користувача, легко тиражуються й мають властивість розвитку. Найближчим часом при побудові САПР необхідно забезпечити розв'язок наступних завдань: навчання користувача, яке зводиться до навчання вхідним мовам, виставі довідкової інформації, адаптованої до характеру запиту, діагностиці помилок і супроводу користувача в процесі проектування; навчання САПР, що припускає настроювання системи на конкретну предметну область або клас проектних процедур; організація діалогу в процесі проектування з метою опису об'єкта проектування, технологічного завдання й завдань на виконання проектних процедур; виготовлення проектної й довідкової документації, що оформляє проектні розв'язки; контроль над функціонуванням системи й відображення статистичних даних про кількість і якість проектних розв'язків.

Одні з найбільш потужних САПР – Unigraphics NX компанії EDS, CATIA французької фірми Dassault Systemes (яка просуває її разом з IBM) і Pro/Engineer від PTC (Parametric Technology Corp.). Головна особливість таких потужних САПР – великі функціональні можливості, висока продуктивність і стабільність роботи – усе це результат тривалого розвитку.

Важливу роль у становленні середнього класу зіграли два ядра твердотельного параметричного моделювання ACIS і Parasolid, які з'явилися на початку 90-х років і зараз використовуються в багатьох ведучих САПР. ГЕОМетричне ядро служить для точної математичної вистави тривимірної форми виробу й керування цією моделлю. Отримані з

його допомогою геометричні дані використовуються системами CAD, CAM і CAE для розробки конструктивних елементів, складань і виробів.

Програми "легкої" категорії служать для двовимірного креслення, тому їх звичайно називають електронною креслярською дошкою. До теперішнього часу вони поповнилися деякими тривимірними можливостями, але не мають засобів параметричного моделювання, якими мають важкі й середні САПР.

Перша креслярська система Sketchpad була створена ще на початку 60-х років, а потім з'явилося чимало інших продуктів такого роду, що використовують досягнення комп'ютерної графіки. Однак справжній розквіт у цій області настав лише в 80-ті роки з появою персональних комп'ютерів. Піонером у цій області стала компанія Autodesk, яка в 1983 р. випустила САПР для ПК за назвою Autocad.

Таким чином, розвиток Систем автоматичного проектування йде двома шляхами – еволюційним і революційним. У свій час революційний переворот зробили перші САПР для ПК і системи середнього класу. Зараз ринок розвивається еволюційно: розширюються функціональні можливості продуктів, підвищується продуктивність, спрощується використання. Але, можливо, незабаром нас чекає чергова революція. Аналітики з Cambashi вважають, що це відбудеться, коли постачальники САПР почнуть використовувати для зберігання інженерних даних (креслень, тривимірних моделей, списків матеріалів і т.д.) не файлові структури, а стандартні бази даних SQL-типу. У результаті інженерна інформація стане структурованою, і управляти нею буде набагато простіше, чим тепер.

6.1. Ціль створення САПР

Різні можливості й границі застосування обчислювальної техніки для автоматизації проектування визначаються рівнем формалізації науково-технічних знань у конкретній галузі. Чим глибше розроблена теорія того або іншого класу технічних систем, тем більші можливості об'єктивно існують для автоматизації процесу їх проектування.

Застосування ПК при проектно-конструкторських роботах у своєму розвитку пройшло кілька стадій і перетерпіло значні зміни. З появою обчислювальної техніки був зроблений акцент на автоматизацію проектних завдань, що мають чітко виражений розрахунковий характер, коли реалізовувалися методики, орієнтовані на ручне проектування. Потім, у міру нагромадження досвіду, стали створювати програми автоматизованих розрахунків на основі методів обчислювальної математики (параметрична оптимізація, метод кінцевих елементів і т.п.). Із впровадженням спеціалізованих термінальних обладнань з'являються

універсальні програми для ПК для розв'язку як розрахункових, так і деяких рутинних проектних завдань (виготовлення креслень, специфікацій, текстових документів і т.п.). В останні роки велика увага приділяється автоматизації розрахунково–конструкторських робіт при проектуванні типових вузлів і агрегатів, коли синтез конструкції проводиться евристично, а основні параметри вибираються й оптимізуються в інтерактивному режимі діалогу проектувальника й ПК.

Однак на всіх цих стадіях автоматизації проектування інженерові крім вивчення інструкцій для експлуатації й написанню програм доводиться пізнавати ряд по суті справи непотрібних йому подробиць системних програм і мов програмування. Крім того, при використанні в проектуванні спеціалізованих по об'єктах розрізаних пакетів прикладних програм (ППП) інженер змушений щораз знову кодувати й уводити інформацію згідно з інструкцією ППП. Відзначені недоліки приводять до того, що часткова («позадачна») автоматизація не виявила істотного впливу на підвищення якості й продуктивності проектування технічних систем і засобів у цілому.

Вирішення проблем автоматизації проектування за допомогою ПК ґрунтується на системному підході, тобто на створенні й впровадженні САПР – систем автоматизованого проектування технічних об'єктів, які вирішують увесь комплекс завдань від аналізу завдання до розробки повного об'єму конструкторської й технологічної документації. Це досягається за рахунок об'єднання сучасних технічних засобів і математичного забезпечення, параметри й характеристики яких вибираються з максимальним обліком особливостей завдань проектно–конструкторського процесу. САПР являє собою великі організаційно–технічні системи, що полягають із комплексу засобів автоматизації проектування, взаємозалежного з підрозділами конкретної проектної організації.

Під автоматизацією проектування розуміють систематичне застосування ПК у процесі проектування при науково обґрунтованім розподілі функцій між проектувальником і ПК і науково обґрунтованому виборі методів машинного розв'язку завдань.

Ціль автоматизації – підвищити якість проектування, знизити матеріальні витрати на нього, скоротити строки проектування й ліквідувати ріст числа інженерно–технічних працівників, зайнятих проектуванням і конструюванням.

Науково обґрунтований розподіл функцій між людиною й ПК має на увазі, що людей повинен вирішувати завдання, що носять творчий характер, а ПК – завдання, розв'язок яких піддається алгоритмізації.

Істотною відмінністю автоматизованого проектування від неавтоматизованого є можливість заміни дорогого часу, що й займає багато, фізичного моделювання – математичним моделюванням. При цьому слід мати у виді одна найважливіша обставина: при проектуванні число варіантів незоро. Тому не можна ставити завдання створення універсальної САПР, а необхідно вирішувати питання проектування для конкретного сімейства машин.

Для створення САПР необхідно:

- удосконалювати проектування на основі застосування математичних методів і засобів обчислювальної техніки;
- автоматизувати процеси пошуку, обробки й видачі інформації;
- використовувати методи оптимального й варіантного проектування;
- застосовувати ефективні істотні особливості, що відбивають, математичні моделі проєктованих об'єктів, що комплектують виробів і матеріалів;
- створювати банки даних, що містять систематизовані відомості довідкового характеру, необхідні для автоматизованого проектування об'єктів;
- підвищувати якість оформлення проектної документації;
- підвищувати творчу частку праці проєктувальників за рахунок автоматизації нетворчих робіт;
- уніфікувати й стандартизувати методи проектування;
- підготувати й перепідготувати фахівців;
- реалізовувати взаємодія з автоматизованими системами різного рівня й призначення.

6.2. Основні принципи побудови САПР

Розробка САПР являє собою велику науково–технічну проблему, а її впровадження вимагає значних капіталовкладень. Накопичений досвід дозволяє виділити наступні основні принципи побудови САПР.

1. САПР – людино–машинна система. Усі створені й створювані системи проектування за допомогою ПК є автоматизованими, важливу роль у них відіграє людей – інженер, що розробляє проєкт технічного засобу.

У цей час і принаймні в найближчі роки створення систем автоматичного проектування не передбачається, і ніщо не загрожує монополії людини при прийнятті вузлових розв'язку в процесі проектування.

Людей у САПР повинен вирішувати, по-перше, усі завдання, які не формалізовані, по-друге, завдання, розв'язок яких людей здійснює на основі своїх евристичних здатностей більш ефективно, ніж сучасна ПК на основі своїх обчислювальних можливостей. Тісна взаємодія людини й ПК у процесі проектування – один із принципів побудови й експлуатації САПР.

2. САПР – ієрархічна система, що реалізує комплексний підхід до автоматизації всіх рівнів проектування. Ієрархія рівнів проектування відбивається в структурі спеціального програмного забезпечення САПР у вигляді ієрархії підсистем.

Слід особливо підкреслити доцільність забезпечення комплексного характеру САПР, тому що автоматизація проектування лише на одному з рівнів виявляється значно менш ефективною, чому повна автоматизація всіх рівнів. Ієрархічна побудова ставиться не тільки до спеціального програмного забезпечення, але й до технічних засобів САПР, поділених на центральний обчислювальний комплекс і автоматизовані робочі місця проектувальників.

3. САПР – сукупність інформаційно-погоджених підсистем. Цей дуже важливий принцип повинен ставитися не тільки до зв'язків між великими підсистемами, але й до зв'язків між більш дрібними частинами підсистем.

Інформаційна погодженість означає, що всі або більшість можливих послідовностей завдань проектування обслуговуються інформаційно погодженими програмами. Дві програми є інформаційно погодженими, якщо всі ті дані, які являють собою об'єкт переробки в обох програмах, входять у числові масиви, що не вимагають змін при переході від однієї програми до іншої. Так, інформаційні зв'язки можуть проявлятися в тому, що результати розв'язку одному завданню будуть вихідними даними для іншого завдання. Якщо для узгодження програм потрібна істотна переробка загального масиву за участю людини, яка додає відсутні параметри, вручну перекомпоновує масив або змінює числові значення окремих параметрів, то програми інформаційно не погоджені. Ручне перекомпоновування масиву веде до істотних тимчасових затримок, росту числа помилок і тому зменшує попит на послуги САПР. Інформаційна непогодженість перетворює САПР у сукупність автономних програм, при цьому через неврахування в підсистемах багатьох факторів, оцінюваних в інших підсистемах, знижується якість проектних розв'язків.

4. САПР – відкрита система, що й розвивається. Існує, принаймні, дві вагомі причини, по яких САПР повинна бути мінливою в часі системою. По-перше, розробка настільки складного об'єкта, як САПР, забирає тривалий час, і економічно вигідно вводити в експлуатацію частини

системи в міру їх готовності. Уведений в експлуатацію базовий варіант системи надалі розширюється. По-друге, постійний прогрес техніки, проєктованих об'єктів, обчислювальної техніки й обчислювальної математики приводить до появи нових, більш досконалих математичних моделей і програм, які повинні замінити старі, менш удачі аналоги. Тому САПР повинна бути відкритою системою, тобто мати властивість зручності використання нових методів і засобів.

5. САПР – спеціалізована система з максимальним використанням уніфікованих модулів. Вимоги високої ефективності й універсальності, як правило, суперечливі. Стосовно до САПР це положення зберігає свою силу. Високої ефективності САПР, що виражається насамперед малими тимчасовими й матеріальними витратами при розв'язку проєктних завдань, домагаються за рахунок спеціалізації систем. Очевидно, що при цьому росте число різних САПР. Щоб знизити витрати на розробку багатьох спеціалізованих САПР, доцільно будувати їх на основі максимального використання уніфікованих складових частин. Необхідною умовою уніфікації є пошук загальних рис і положень у моделюванні, аналізі й синтезі різнорідних технічних об'єктів. Безумовно, може бути сформульований і ряд інших принципів, що підкреслює багатосторонність і складність проблеми САПР.

6.3. Програмне забезпечення САПР

Усі програми діляться на два види: програми загального призначення й програми спеціального призначення. Усім програмам для своєї роботи потрібне графічне ядро, роль якого виконує часто Autocad. Чому вибрали саме Autocad у якості графічного ядра? Тому що Autocad добротна зроблена програма, яка тривалий час продається в усьому світі, вона має більш 4000 додатків для різних галузей знань і в цей час Autocad є стандартом для графічних систем, що працюють на персональних комп'ютерах.

Autocad використовують для виконання робіт із проєктування й конструюванню в різних областях машинобудування, будівництва, картографії й архітектури для роботи із плоскими кресленнями й тривимірними моделями проєктів виробів, будинків і навіть заводів. Крім Autocad, компанія Autodesk пропонує багато спеціалізованих програм загального призначення, які розширюють можливості Autocad. Це програма Autocad Designer, яка дозволяє робити комп'ютерні моделі тривимірних параметричних виробів, включаючи асоціативність усіх розмірів, плоских зображень і тривимірних твердотельних комп'ютерних моделей. Програма Autosurf дозволить працювати зі складними

поверхніми й тонкими оболонками, використовуючи сплайнове моделювання із застосуванням Nurbs–Математики. Програма Autodesk Mechanical Desktop підтримує наскрізну параметризацію тривимірних моделей і дозволяє проектувати й створювати складні тривимірні твердотельні й просторові моделі виробів. Програма Autodesk Work Center призначена для об'єднання зусиль великої кількості людей при роботі над більшим проектом. Autocad і інші програми компанії Autodesk ставляться до програм загального призначення. До цього класу програм ставляться й програми компанії Intermechu Cimlogic і Vibrant Graphics. Програми компанії Vibrant Graphics ~ Soffengine і Softpoint – це драйвери, які призначені для прискорення роботи систем на базі Autocad в 25 разів. Softengine має функції миттєвого зумовлення й панорамирования без регенерації зображення, дозволяє швидко тонувати, розрізати й обертати в реальному масштабі часу тонувані тривимірні об'єкти й конструкції, а також має багато інших корисних функцій.

Програмне забезпечення компанії Intermech і Cimlogic дозволяє дуже ефективно й швидко створювати плоскі креслення окремих деталей, вузлів і виробів у цілому. У програмне забезпечення включені модулі для розрахунків ланцюгових і пасових передач, шківів і кулачків, пружин, валів, для розрахунків моментів інерції й інших характеристик виробу, включаючи складні кінематичні розрахунки. Програмне забезпечення цих фірм має модулі для роботи із просторовими виробами, виконаними з листових матеріалів і програму роботи із тривимірними базами стандартних деталей і елементів кріплення. Програма містить багато команд і режимів, які значно спрощують процес креслення й скорочують час виготовлення всіх видів креслень.

До програм спеціального призначення ставляться програми компаній Flow Science, Rebis, Softdesk, Surfware, GTX і ін.

Програмне забезпечення компанії Gtxrastercad призначене для швидкого й зручного перекладу будь-якої документації, у тому числі складних і насичених креслень із паперового носія в електронний вид. Програма працює, як додаток Autocad і дозволяє завантажити отсканований креслення безпосередньо в середовище Autocad. Для редагування зображення можуть використовуватися спеціальні інтелектуальні функції Gtxrastercad або команди з меню Autocad. Програми GTX розпізнають і векторизують не тільки креслення, але й текст, який утримувався в полі креслення. Програма містить функції для очищення креслення від "сміття", який з'являється в полі креслення при скануванні старих і неякісних конструкторських документів.

За допомогою програмного забезпечення компанії Softdesk можна розв'язати всі проблеми з автоматизацією проектування будівельних

конструкцій, розрахункам основних елементів даного проекту, одержанню необхідної нормативної документації.

Програма FLOW–3D компанії Flow Science Inc. Дозволить Вам моделювати процеси масо– і теплопереноса в тривимірній постановці. У цей час даний пакет програм використовується при розробці конструкцій літальних і морських апаратів, в автомобілебудуванні, для проектування систем охолодження й вентиляції, для проектування нефте– і газопроводів, у ракетобудуванні, при проектуванні технології ливарних і металургійних процесів, для лиття пластмас і в інших галузях промисловості.

Програмне забезпечення компанії Pathrace Inc. призначене для комп'ютерного моделювання процесів механообробки, перевірки якості одержуваного виробу й одержання керуючої програми для 2...5 координатних верстатів зі ЧПУ. У програмі враховуються характеристики використовуваного користувачем устаткування. Програма Edgesam дозволяє, використовуючи комп'ютерну модель виробу, пройти всі стадії його обробки, покаже місця можливих дефектів або невідповідностей вимогам до виробу, допомагає створити найкращу керуючу програму для одержання даного виробу з гарантованою якістю.

Програмне забезпечення компанії Rebis призначене для проектування заводів і включає програми по проектуванню систем трубопроводів, проектуванню й розміщенню встаткування, проектуванню несучих конструкцій, модулі для проведення перевірочних розрахунків окремих елементів і всею проекту в цілому.

Програмне забезпечення компанії Rebis Industrial Workgroup Software на сьогоднішній день є самим розповсюдженим у країнах СНД. Rebis єдина з іноземних компаній-виробників програмного забезпечення має повністю російську версію програмних модулів, базу даних з елементами відповідно до Російських стандартів, а також центри по навчанню й гарантійному й післягарантійному супроводу продажів. Програмне забезпечення фірми Rebis успішно використовується в нафтовій, газовій, хімічній і харчовій промисловості.

Чим же Rebis залучає інженерів? Насамперед це легкість в освоєнні програмного забезпечення, простота його адаптації й налаштування під конкретні вимоги користувачів, а також цілодобова професійна технічна підтримка в країнах СНД. Але найбільш привабливим є те, що набір програм відбиває процес проектування, традиційно використовуваний інженерами. Крім цього, програми від Rebis є не тільки унікальним інструментом у руках професіоналів, але й порадиником по різних проблемах, і в той же час акумулятором професійних знань у тій області, для робіт у якій Rebis використовується в цей момент.

6.3.1. Структура пакета програмного забезпечення Rebis

Програмне забезпечення складається з 4 більших частин, а саме: технологічна частина (AIS), проектування (CAD), розрахункова частина (CAE) і система документообігу (PDM).

Усі частини між собою тісно зв'язані. Здійснює зв'язок цих частин між собою саме система документообігу й керування проектами. Крім цього, у програмі присутня зв'язок між технологічною документацією й просторовою моделлю проекту в цілому. У пакеті програм реалізована система просторового комп'ютерного моделювання з можливістю попередження й пошуку помилок і колізій у проекті ще на стадії комп'ютерного моделювання, за допомогою системи інженерного документообігу реалізована можливість групової роботи над проектом як у рамках декількох підрозділів однієї організації, так і в рамках декількох відділів і навіть декількох організацій, що перебувають у різних містах або країнах.

Будь-який новий проект починається з розробки технологічної схеми процесу. При цьому потрібно розробити технологічну схему, схему Кипиа, необхідні електричні схеми й комплект нормативної документації. Для цієї роботи використовується модуль AIS. Використовуючи в роботі модуль Rebis P&ID (Технологічні схеми), користувач одержує доступ до бази даних з більш ніж 400 символами й умовними позначками встаткування, ліній і ін. має можливість одержати специфікації для встаткування, номерів ліній, клапанів та ін., перевірити погодженість параметрів технологічних ліній, створити, запам'ятати й використовувати надалі типові обв'язки, а також перевірити погодженість посилань на інші креслення проекту й багато чого іншого. Розробка технологічної схеми починається з настроювання програми. Після цього завантажується робоче меню й інструментарій. Використовуючи велику базу даних програми, а також меню й діалоги користувач вибирає, розставляє й зв'язує між собою необхідне встаткування, що реалізує даний технологічний процес.

Уся інформація про використані елементи і їх характеристики чітко фіксується програмою. Після завершення роботи над технологічною схемою автоматично генерується експлікація ділянок, перелік клапанів, устаткування і т.д. Паралельно з технологічною схемою створюються схеми Кипиа й інші схеми й креслення. Після завершення роботи з технологічною схемою, у користувача є можливість перевірити працездатність і погодженість зі схемами Кипиа й іншими зв'язаними кресленням за допомогою інструментальних засобів Rebis. За допомогою утиліт перевірок, дуже просто й легко виявляються помилки в схемах і кресленнях і відразу усуваються або допрацьовуються, створюються відсутні зв'язки або генеруються додаткові документи або звіти.

6.3.1.1. Тривимірне моделювання.

Інша серія програм Rebis – це серія САD, що використовується для розробки монтажно–технологічної частини проекту. При використанні серії САD, насамперед, вирішується завдання компоунання, устаткування, об'язки встаткування трубопроводами як в автоматичному режимі, так і в режимі діалогу з користувачем, є можливість одночасного пророблення будівельної частини проекту, одержання робочих креслень, автоматичної генерації специфікацій, автоматичної генерації ізометричних схем трубопроводів, можливість перевірки й усунення помилок у конструкції на стадії комп'ютерної моделі. Серія САD має назву Autoplant 3D. До її складу входять модулі Встаткування, Трубопроводи, Ізометрія, Металоконструкції й модуль Візуалізація й Перевірка колізій.

Основні переваги просторового проектування перед традиційним:

- можливість детального пророблення проекту;
- усі підрозділи, що брати участь у розробці проекту можуть одночасно працювати в просторі даного проекту;
- функції автоматичної генерації робочих креслень і специфікацій;
- можливість прочностного розрахунків спроектованої конструкції як у цілому, так і окремих її вузлів;
- можливість пошуку, ідентифікації й усунення помилок у проекті на стадії комп'ютерного моделювання.

Процес створення просторової моделі реалізується в такий спосіб. Спочатку завантажується модуль Устаткування, у якому перебувають бібліотеки з елементами встаткування типу теплообмінників, печей, насосів, резервуарів, ємностей, апаратів, а також модуль створення користувацького встаткування. Як і в модулі Р&ІD користувач спочатку набудовує середовище проектування й потім починає роботу із програмою. Спочатку задаються габарити майданчика, орієнтація в просторі й координати її розміщення. Розміщення встаткування в просторі проекту проводиться з урахуванням оцінки рівня й координат щодо крапки вставки. У процесі компоунання встаткування, його можна прив'язати до задалегідь певних крапок у просторі, що набагато спрощує весь процес компоунання. У програмі все встановлюване встаткування задається параметрично або вибирається з бази даних проекту.

За допомогою діалогових вікон відбувається завдання й прив'язка штуцерів до встаткування, при цьому штуцера вибираються з бази даних проекту з урахуванням умовного діаметра, тиску й типу виконання фланців. Необхідно відзначити, що використання об'єктно–орієнтованого параметричного конструювання значно спрощує процес компоунання встаткування, при цьому немає обмежень на складність конфігурації встаткування й насиченість їм робочого майданчика.

Розв'язавши питання з компонуванням устаткування, переходять до процедури його обв'язки. Для цього використовується модуль Трубопроводи. З його допомогою інженер може прокладати трубопроводи в просторі моделі, здійснювати обв'язку технологічного встаткування, має можливість автоматичного вибору оптимальної траси прокладки трубопроводів, а також можливість редагування проекту автоматичного аотування й генерації повного комплекту робочих креслень. У програму входить модуль автоматичної генерації ізометричних схем, база даних з елементами трубопроводів і арматури відповідно до Російських стандартів, конструктор форм звітів, інтерфейс із розрахунковими модулями й багато чого іншого. Процес побудови моделі виглядає в такий спосіб: якщо елемент ставиться в просторі моделі, то для нього можна задати оцінку низу, осі або верхи труби й указати його координати. При прокладці трубопроводу від штуцера встаткування або від іншого кінцевого елемента, задається номер лінії, умовний діаметр, а також інші параметри, які автоматично беруться від попереднього елемента. У процесі вставки відповідного фланця, кріплення й прокладка вибираються й вставляються автоматично. У процесі роботи із програмою, у проектувальника відсутня необхідність у промальовуванні кожного елемента. Його зображення, розміри й усі дані про нього можуть бути взяті з бази даних проекту. Усі деталі трубопроводів у процесі роботи можуть установлюватися як один одним, так і з відносним зсувом осі симетрії. Це дозволяє створювати проекти з абсолютною точністю розміщення всіх елементів. Значно полегшує процес проектування можливість автоматичної установки деталей на пересічних осях, що повністю виключає помилки в процесі проектування. У програмі закладене більш 20 типів сполук елементів між собою, крім цього, є присутнім можливість самостійно закласти оригінальний тип і умови стикування елементів. Однієї з важливих особливостей модуля Трубопроводи є можливість автоматичної прокладки траси труб між двома неспіввісними крапками. Усі труби, деталі, арматури, установлювані в модель, автоматично вибираються з бази даних проекту. При цьому складна обв'язка ніяк не ускладнює процес проектування.

По закінченню роботи з моделлю, користувач має можливість одержати із просторової моделі повний комплект робочих креслень у заданому масштабі. У процесі роботи над кресленнями, для проставлення номера лінії, марки трубопровідної арматур, оцінки прокладки трубопроводу досить указати маркером миші на необхідний елемент. Тому що створення моделі виконується в реальному масштабі, проставлення розмірів досить просте й зрозуміла користувачеві, при цьому складність одержуваних креслень не обмежена. Крім цього, в автоматичному режимі

можна одержати специфікацію як для всієї моделі, так і для окремих її частин.

Перш, ніж робити робочі креслення, користувач може промоделювати створену конструкцію на предмет помилок і колізій, перевірити виникаючі в ній напруги, промоделювати рух рідини або газу по системах трубопроводів і багато чого іншого.

Переваги використання даного програмного продукту:

1. Скорочення строків виконання проектів, за рахунок тих можливостей, які надає робота із тривимірною комп'ютерною моделлю.

2. Підвищення якості проектів, що випускаються, за рахунок їх детального пророблення.

3. Здійснення контролю програми над процесом проектування.

4. Використання графічного ядра найпоширенішого пакета—Autocad.

5. Порівняно невелика вартість комплекту програм у порівнянні з об'ємами розв'язуваних завдань.

6. Наявність російської версії програми.

7. Наявність бази даних з елементами трубопроводів і несучих конструкцій відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ і ГСТ.

8. Система повністю відкрита для модифікації, розширення й доповнення. Розроблені методики й інструкції з роботи із програмою.

9. Можливість усунення помилок і невідповідностей у проекті ще на стадії комп'ютерної моделі, а не на будівельному майданчику.

Робота над тривимірною моделлю установки або об'єкта закінчена й тепер можна розглянути процес генерації монтажних креслень. Розробляючи модель, можуть виникати помилки й точності в обв'язці, можна випадково перетнути трубу опорою або не витримати габарити зони обслуговування заданого обладнання. У пакет програм Rebis Autoplant 3D входить програма з назвою Explorer/ID.

Ця програма дозволяє здійснювати візуалізацію й аналіз конструкції спроектованої установки, здійснює перевірку несанкціонованих перетинань і помилок. Якщо треба показати проект із метою презентації або подивитися, як об'єкт уписується в існуючий ландшафт, Explorer/ID допоможе в цьому випадку. У процесі візуалізації всі об'єкти тонуються, візуалізація об'єкта проводиться в мультимедійному режимі.

Якщо програма знаходить елементи, які перетинаються без дозволу користувача, то програма виділяє такі місця кольором. До складу програми входить великий набір допоміжних функцій, бібліотек текстур і багато чого іншого. Усе це дозволяє зробити сценарій перегляду моделі й записати анімаційний ролик, включаючи звукові ефекти. Це дуже корисна функція, тому що всі невідповідності й помилки в проекті можна знайти й

ліквідувати ще на стадії комп'ютерної моделі, а не на будівельному майданчику.

За попередніми оцінками користувачів, можливість виявлення й ліквідації помилок проектування на стадії комп'ютерного моделювання дозволяє зберегти від 8% до 21% засобів від загального об'єму вартості проекту.

Після перевірки конструкції на колізії, необхідно провести комп'ютерне моделювання роботи спроектованої установки з метою визначення можливих місць її руйнування, пов'язаних з напругами в трубопроводах. Крім цього, цікаво промоделювати проходження носія по трубопроводах і апаратах, подивитися, чи їсти вузькі місця в реалізованій схемі, чи є помилки в призначенні розмірів трубопроводів, не чи було помилок при доборі компресорного встаткування, і багато чого іншого.

Для цих цілей є цілий набір програм Rebis, які реалізують усе вищесказане за назвою Rebis CAE. Крім цього, повний пакет програм CAE дозволяє проводити прочностной розрахунки конструкції, аналіз коливань у трубопроводах, моделювати плин рідин і газів у системах трубопроводів, включаючи магістральні трубопроводи й трубопроводи великого діаметра, пакет дозволяє проводити розрахунки місцевих напружень в елементах конструкцій. До складу цих програм входить як прямий, так і зворотний інтерфейс із програмами, призначеними для проектування. Розробивши тривимірну модель конструкції, проектувальник має можливість переслати по електронній пошті або по комп'ютерній мережі файл із макетом розраховувачеві. Розраховувач, одержавши цей файл, може провести необхідні розрахунки й обговорити їхні результати із проектувальником. Якщо конструкція зажадає доробок або виправлення, то це можна зробити безпосередньо на комп'ютері розраховувача відразу провести повторне моделювання. Після одержання задовільних результатів перевірочних розрахунків, розраховувач пересилає вже скоректовану модель проектувальникові, який відразу ж починає роботу над створенням необхідної нормативної й робочої документації Прямий і зворотний інтерфейс між розрахунковими й проектувальними програмами особливо зручний при розробці великих проектів, коли переробки в конструкції можуть бути значними. Також це зручно при розробці стендів або нових конструкцій установок, коли нова установка створюється, моделюється й допрацьовується в середовищі моделюючої програми, а потім передається в проектні програми для генерації комплекту робочої документації.

Однієї із програм, що входить у пакет Rebis CAE є програма Autoripe. Ця програма призначена для розрахунків трубопроводів і несучих конструкцій на міцність. За допомогою цієї програми проводиться розрахунки напруженого стану конструкції при вітровім навантаженні, при

сніговим навантаженні й хвильовому навантаженню на конструкцію. Програма дозволяє проводити прочностной розрахунки як наземних, так і підземних і підводних конструкцій. В Autorіре реалізована можливість задавати комбіновані навантаження для конструкції й багато чого іншого. У результаті розрахунків користувач має можливість переглянути динамічну картинку розвитку подій, у тому числі й руйнування конструкції. За допомогою колірної або цифрової індикації, користувач має можливість одержати інформацію про величину й розподіл навантажень у будь-якій крапці конструкції в будь-який момент часу. Крім цього, користувач може вивести на принтер або на екран комп'ютера інформацію з еквівалентних напруг, що допускаються їй, і переміщенням у моделі конструкції.

Іншою програмою з пакета Rebis Саеявляється Plantflow. Програма Plantflow дозволяє здійснювати розрахунок і аналіз процесу, що встановився, плинину газу або рідини по мережах трубопроводів. Програма включає гідравлічний розрахунки, розрахунки процесу теплопередачі, можливість завдання тиску в будь-якій крапці конструкції, розрахунки необхідної потужності насосів і компресорів, розрахунки втрат тиску в елементах трубопроводів, можливість розрахунків складних і протяжних трубопровідних систем.

Усе це й ще багато інші можливості, зробили програми фірми Rebis Industrial Workgroup Software самими популярними не тільки рубежем, але й у Росії й країнах СНД. І дійсно, тільки у фірми Rebis є на території Росії й країн СНД мережа навчених авторизованих партнерів, які здійснюють гарантійне й післягарантійне обслуговування програм, є адаптовані й перекладені на російську мову навчальні посібники й робоча документація, є інформаційний сервер в Інтернеті за адресою www.rebis.net. Програми фірми Rebis зроблені фахівцями в області проектування для фахівців, тому програми повністю повторюють методику традиційно прийнятих способів проектування.

Rebis як фірма – розроблювач програмного забезпечення для інжинірингу пропонує комплексне й повністю завершене розв'язок для проектування підприємств для нафтової, газової, хімічної промисловості й багатьох інших галузей науки й техніки. Програмне забезпечення САПР від Rebis привабливо тим, що воно дає можливість роботи великої кількості проектних структур, розташованих як у різних точках одного міста, так і в різних містах і навіть країнах, одночасно над одним проектом, а це, у свою чергу, дозволяє значно скоротити строки проектування й серйозно поліпшити якість виконаних робіт.

6.4. Математичне забезпечення автоматизованого проектування

Математичне забезпечення автоматизованого проектування містить у собі математичні моделі об'єктів проектування, методи й алгоритми виконання проектних процедур.

6.4.1. Математичні моделі

Вимоги до математичних моделей. Математичні моделі (ММ) служать для опису властивостей об'єктів у процедурах САПР. Якщо проектна процедура включає створення ММ і оперування нею з метою одержання корисної інформації про об'єкт, то говорять, що процедура виконується на основі математичного моделювання.

До математичних моделей пред'являються вимоги універсальності, адекватності, точності й економічності.

Ступінь універсальності ММ характеризує повноту відображення в моделі властивостей реального об'єкта. Математична модель відбиває лише деякі властивості об'єкта. Так, більшість ММ, використовуваних при функціональній проектуванні, призначене для відображення, що протікають в об'єкті фізичних або інформаційних процесів, при цьому не потрібно, щоб ММ описувала такі властивості об'єкта, як геометрична форма складових його елементів. Наприклад, ММ семенорушки у вигляді рівняння розрахунків кількості роботи для руйнування оболонки насіння соняшника характеризує властивість пропускну здатності жолоба й швидкості обертання ротора, але не відбиває габарити семенорушки, як обладнання, його механічну міцність, вартість і т.п.

Точність ММ оцінюється ступенем збігу значень параметрів реального об'єкта й значень тих же параметрів, розрахованих за допомогою оцінюваної ММ шляхом розрахунків відносної погрішності.

Адекватність ММ – здатність відображати задані властивості об'єкта з погрішністю не вище заданої. При цьому, як правило, адекватність моделі має місце лише в обмеженій області зміни зовнішніх змінних – області адекватності математичної моделі.

Економічність ММ характеризується витратами обчислювальних ресурсів (витратами машинних часу й пам'яті) на її реалізацію. Замість обчислювальних ресурсів, що залежать не тільки від властивостей моделі, по й від особливостей застосовуваного комп'ютера, часто використовують інші величини, наприклад: середня кількість операцій, виконуваних при одному звертанні до моделі, розмірність системи рівнянь, кількість використовуваних у моделі внутрішніх параметрів і т.п.

Вимоги високих точності, ступені універсальності, широкої області адекватності, з одного боку, і високої економічності, з іншого боку, суперечливі. Найкраще компромісне задоволення цих суперечливих вимог залежить від особливостей розв'язуваних завдань, ієрархічного рівня й аспекту проектування. Ця обставина обумовлює застосування в САПР широкого спектра математичних моделей.

Класифікація математичних моделей. Основні ознаки класифікації й типи ММ, застосовувані в САПР, дані в таблиці 5.

По характеру відображуваних властивостей об'єкта ММ діляться на структурні й функціональні.

Структурні ММ призначені для відображення структурних властивостей об'єкта. Розрізняють структурні ММ топологічні й геометричні.

У топологічних ММ відображаються сполука й взаємозв'язку елементів об'єкта. Їх найчастіше застосовують для опису об'єктів, що полягають із великої кількості елементів, при розв'язку завдань прив'язки конструктивних елементів до певних просторових позицій (наприклад, завдання компонування встаткування, розміщення апаратів, трасування трубопроводів) або до відносних моментів часу (наприклад, при розробці розкладів, технологічних процесів). Топологічні моделі можуть мати форму графів, таблиць (матриць), списків і т.п.

Таблиця 5 – Класифікація і типи математичних моделей

Ознака класифікації	Математичні моделі
Характер відображуваних властивостей	структурні; функціональні
Приналежність до ієрархічного рівня	мікрорівня; макрорівня; метауровня
Ступінь деталізації опису усередині одного рівня	повні; макромоделі
Спосіб вистави властивостей об'єкта	аналітичні; алгоритмічні; імітаційні
Спосіб одержання моделі	теоретичні; емпіричні

У геометричних ММ відображаються геометричні властивості об'єктів, у них додатково до відомостей про взаємне розташування елементів утримуються відомості про форму апаратів. Геометричні ММ можуть виражатися сукупністю рівнянь ліній і поверхонь; алгебраїчних і логічних співвідношень, що описують області, що становлять тіло об'єкта; графами й списками, що відображають конструкції з типових конструктивних елементів, і т.п. Геометричні ММ застосовують при розв'язку завдань конструювання в хімічному машинобудуванні, приладобудуванні, для оформлення конструкторської документації, при завданні вихідних даних на розробку технологічних процесів. Використовують кілька типів геометричних ММ.

У машинобудуванні для відображення геометричних властивостей деталей з порівняно нескладними поверхнями застосовують ММ, що представляються в аналітичній або алгебрологічеської формі (аналітичні, алгебрологічеські). Аналітичні ММ – рівняння поверхонь і ліній. В алгебрологічеських ММ тіла описуються системами логічних виражень, що відбивають умови приналежності крапок внутрішнім областям тел.

Для складних поверхонь аналітичні й алгебрологічеські моделі виявляються занадто громіздкими, їх важко одержувати й незручно використовувати. Область їх застосування звичайно обмежується поверхнями плоскими й другого порядку.

У машинобудуванні для відображення геометричних властивостей деталей зі складними поверхнями застосовують ММ каркасні й кінематичні.

Каркасні ММ являють собою каркаси – кінцеві безлічі елементів, наприклад крапок або кривих, що належать моделюваній поверхні. Зокрема, вибір каркаса у вигляді ліній, що утворюють сітку на описуваній поверхні, приводить до розбивки поверхні на окремі ділянки. Кусочно–лінійна апроксимація на цій сітці усуває головний недолік аналітичних моделей, тому що в межах кожного з ділянок, що мають малі розміри, можлива задовільна по точності апроксимація поверхнями із простими рівняннями. Коефіцієнти цих рівнянь 'розраховуються виходячи з умов плавності сполучень ділянок.

У кінематичних ММ поверхню представляється в параметричному виді. Таку поверхню можна одержати як результат переміщення в тривимірному просторі кривої, називаної утворюючої, по деякій напрямній лінії.

Коефіцієнти рівнянь у всіх розглянутих моделях, як правило, не мають простого геометричного змісту, що утрудняє роботу з ними в інтерактивному режимі. Цей недолік усувається в канонічних моделях і в геометричних макромоделях.

Канонічні моделі використовують у тих випадках, коли вдається виділити параметри, що однозначно визначають геометричний об'єкт і в той же час, що мають простий зв'язок з його формою. Наприклад, для плоского багатокутника такими параметрами є координати вершин, для циліндра – напрямні косинуси й координати деякої крапки осі, а також радіус циліндра.

Геометричні макромоделі є описами попередньо відібраних типових геометричних фрагментів. Такими фрагментами можуть бути типові складальні одиниці, а їх макромоделями – умовні номери, габаритні й стикувальні розміри. При оформленні конструкторської документації макромоделі використовують для опису типових графічних зображень, наприклад зубчастих коліс, гвинтових з'єднань, підшипників і т.п.

Функціональні ММ призначені для відображення фізичних або інформаційних процесів, що протікають в об'єкті при його функціонуванні або виготовленні. Звичайно функціональні ММ являють собою системи рівнянь, що зв'язують фазові змінні, внутрішні, зовнішні й вихідні параметри.

Розподіл описів об'єктів на аспекти й ієрархічні рівні безпосередньо стосується математичних моделей. Виділення аспектів опису приводить до виділення моделей механічних, гідравлічних, хімічних і т.п., причому моделі процесів функціонування виробів і моделі процесів їх виготовлення різні.

Використання принципів блочно–ієрархічного підходу до проектування приводить до появи ієрархії математичних моделей проєктованих об'єктів. Кількість ієрархічних рівнів при моделюванні визначається складністю проєктованих об'єктів і можливістю засобів проектування. Однак для більшості предметних областей можна віднести наявні ієрархічні рівні до одного із трьох узагальнених рівнів, названих далі микро–, макро– і метауровнями.

Залежно від місця в ієрархії описів математичні моделі діляться на ММ, що ставляться до микро–, макро– і метауровням.

Особливістю ММ на мікрорівні є відбиття фізичних процесів, що протікають у безперервних просторі й часу. Типові ММ на мікрорівні – диференціальні рівняння в частинних похідних (ДРЧП), наприклад процеси, що описують, дифузії. У них незалежними змінними є просторові координати й час. За допомогою цих рівнянь розраховуються поля механічних напруг і деформацій в апаратах, тисків, температур і т.п. Можливості застосування ММ у вигляді ДРЧП обмежені складностями у виборі методу чисельного аналізу й відсутності спеціалізованих методів розв'язку таких моделей.

На макрорівні використовують укрупнену дискретизацію простору за функціональною ознакою, що приводить до вистави ММ на цьому рівні у вигляді систем звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР). У цих рівняннях незалежною змінною є час, а вектор залежних змінних становлять фазові змінні, що характеризують стан укрупнених елементів дискретизованого простору. Такими змінними є сили й швидкості механічних систем, напруги й сили хімічних систем, тиску й витрати гідравлічних і пневматичних систем і т.п. Системи ЗДР є універсальними моделями на макрорівні, придатними для аналізу як динамічних станів, що так і встановилися, об'єктів. Моделі для режимів, що встановилися, можна також представити у вигляді систем алгебраїчних рівнянь. Порядок системи рівнянь залежить від числа виділених елементів об'єкта. Якщо порядок системи наближається до 10^3 , то оперування моделлю стає скрутним і тому необхідно переходити до вистав на метарівні.

На метарівні в якості елементів ухвалюють досить складні сукупності деталей. Метауровень характеризується більшою різноманітністю типів використовуваних ММ. Для багатьох об'єктів ММ на метарівні як і раніше представляються системами ЗДР. Однак тому що в моделях не описуються внутрішні для елементів фазові змінні, а фігурують тільки фазові змінні, що ставляться до взаємних зв'язків елементів, то укрупнення елементів на метарівні означає одержання ММ прийнятної розмірності для суттєво більш складних об'єктів, чому на макрорівні.

Структурні моделі також діляться на моделі різних ієрархічних рівнів. При цьому на нижчих ієрархічних рівнях переважає використання геометричних моделей, на вищих ієрархічних рівнях використовуються топологічні моделі.

По ступеню деталізації опису в межах кожного ієрархічного рівня виділяють повні ММ і макромоделі.

Повна ММ – модель, у якій фігурують фазові змінні стани, що характеризують, усіх наявних межелементних зв'язків (тобто стану всіх елементів проєктованого об'єкта).

Макромодель – ММ, у якій відображаються стани значно меншого числа межелементних зв'язків, що відповідає опису об'єкта при укрупненні виділених елементів.

Поняття «повна ММ» і «макромодель» відносні й звичайно використовуються для розрізнення двох моделей, що відображають різний ступінь детальності опису властивостей об'єкта.

По способу наведення властивостей об'єкта **функціональні ММ** діляться на аналітичні й алгоритмічні.

Аналітичні ММ являють собою явні вираження вихідних параметрів як функцій вхідних і внутрішніх параметрів. Такі ММ

характеризуються високою економічністю, однак одержання їх вдається лише в окремих окремих випадках, як правило, при прийнятті істотних допущень і обмежень, що знижують точність і сужаючих область адекватності моделі.

Алгоритмічні ММ виражають зв'язки вихідних параметрів з параметрами внутрішніми й зовнішніми у формі алгоритму. Типової алгоритмічної ММ є система рівнянь, доповнена алгоритмом обраного чисельного методу розв'язку й алгоритмом обчислення вектора вихідних параметрів як функціоналів розв'язку системи рівнянь.

Імітаційна ММ – алгоритмічна модель, що відбиває поведінку досліджуваного об'єкта в часі при завданні зовнішніх впливів на об'єкт. Прикладами імітаційних ММ можуть служити моделі динамічних об'єктів у вигляді систем ЗДР й моделі систем масового обслуговування, задані в алгоритмічній формі.

Для одержання ММ використовують методи неформальні й формальні.

Неформальні методи застосовують на різних ієрархічних рівнях для одержання ММ елементів. Ці методи включають вивчення закономірностей процесів і явищ, пов'язаних з моделюємим об'єктом, виділення істотних факторів, прийняття різного роду допущень і їх обґрунтування, математичну інтерпретацію наявних відомостей і т.п. Для виконання цих операцій у загальному випадку відсутні формальні методи, у той же час від результату цих операцій суттєво залежать показники ефективності ММ – ступінь універсальності, точність, економічність. Тому побудова ММ елементів, як правило, здійснюється кваліфікованими фахівцями, що одержали підготовку як у відповідній предметній області, так і в питаннях математичного моделювання на ПК.

Застосування неформальних методів можливо для синтезу ММ теоретичних і емпіричних. **Теоретичні ММ** створюються в результаті дослідження процесів і їх закономірностей, властивих розглянутому класу об'єктів і явищ; **емпіричні ММ** – у результаті вивчення зовнішніх проявів властивостей об'єкта за допомогою вимірів фазових змінних на зовнішніх входах і виходах і обробки результатів вимірів.

Розв'язок завдань моделювання елементів полегшує завдяки тому, що для побудови більшості технічних об'єктів використовуються типові елементи (кількість типів порівняно невелика). Тому розробка ММ елементів проводиться порівняно рідко. Один раз створені ММ елементів надалі багаторазово застосовують при розробці різноманітних систем із цих елементів. Прикладами таких ММ на мікрорівні служать опису кінцевих елементів для аналізу напружено–деформованого стану деталей, безліч типів кінцевих елементів включає стрижні, плоскі елементи у формі

трикутників і чотирикутників, тривимірні елементи типу паралелепіпеда, тетраедра й т.п.; прикладами ММ геометричних елементів можуть служити рівняння ліній прямих, дуг окружностей, площин і поверхонь другого порядку; прикладами ММ елементів на макрорівні є ММ типових хімічних процесів.

Формальні методи застосовують для одержання ММ систем при відомих математичних моделях елементів.

Таким чином, у програмах автоматизованого аналізу, використовуваних у САПР, одержання ММ проєктованих об'єктів забезпечується реалізацією ММ елементів і методів формування ММ систем.

Методика одержання математичних моделей елементів. У загальному випадку процедура одержання математичних моделей елементів містить у собі наступні операції:

1. Вибір властивостей об'єкта, які підлягають відбиттю в моделі. Цей вибір заснований на аналізі можливих застосувань моделі й визначає ступінь універсальності ММ.

2. Збір вихідної інформації про обрані властивості об'єкта. Джерелами відомостей можуть бути досвід і знання інженера, що розробляє модель, науково-технічна література, насамперед довідкова, опису прототипів – наявних ММ для елементів, близьких по своїх властивостях до досліджуваного, результати експериментального виміру параметрів і т.п.

3. Синтез структури ММ. Структура ММ – загальний вид математичних співвідношень моделі без конкретизації числових значень, що фігурують у них параметрів. Структура моделі може бути представлена також у графічній формі, наприклад, у вигляді еквівалентної схеми або графа. Синтез структури – найбільш відповідальна й з найбільшою працею операція, що піддається формалізації.

4. Розрахунки числових значень параметрів ММ. Це завдання ставиться як завдання мінімізації погрішності моделі заданої структури.

5. Оцінка точності й адекватності ММ.

Більшу цінність для користувача представляють не оцінки погрішності, виконані в одній-двох випадкових крапках простору зовнішніх змінних, а відомості про область адекватності (ОА). Однак визначення ОА вимагає більших витрат машинного часу. Тому розрахунки ОА виконується тільки при ретельнім відпрацьовуванні ММ уніфікованих елементів, призначених для багаторазового застосування.

При одержанні ММ операції 2–5 методики можуть виконуватися багаторазово в процесі послідовних наближень до бажаного результату.

Перетворення математичних моделей у процесі одержання робочих програм аналізу. Вище були визначені класи функціональних ММ на різних ієрархічних рівнях як системи рівнянь певного типу. Реалізація таких моделей на ПК має на увазі вибір чисельного методу розв'язку рівнянь і перетворення рівнянь відповідно до особливостей обраного методу. Кінцева мета перетворень – одержання робочої програми аналізу у вигляді послідовності елементарних дій (арифметичних і логічних операцій), реалізованих командами ПК. Усі зазначені перетворення вихідної ММ у послідовність елементарних дій ПК виконує автоматично по спеціальних програмах, створюваних інженером-розроблювачем САПР. Інженер-користувач САПР повинен лише вказати, які програми з наявних він прагне використовувати.

Інженер-користувач задає вихідну інформацію про аналізований об'єкт і про проектні процедури, що підлягають виконанню, на зручному для нього проблемно-орієнтованій вхідній мові програмного комплексу.

Формалізація одержання математичних моделей систем (ММС). Вище вказувалося, що процедури одержання математичних моделей систем (ММС) у САПР, як правило, формалізовані.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. *Що таке автоматизоване проектування?*
2. *Наведіть переваги САПР.*
3. *Від яких факторів залежать переваги САПР?*
4. *Що розуміють під «автоматизацією проектування»?*
5. *Яка ціль автоматизації?*
6. *Що означає науково обґрунтований розподіл функцій між людиною й ПК?*
7. *Що необхідно для створення САПР?*
8. *Наведіть основні принципи побудови САПР.*
9. *Яке програмне забезпечення САПР?*
10. *Яке математичне забезпечення автоматизованого проектування?*
11. *Наведіть вимоги до математичних моделей.*
12. *Наведіть класифікацію математичних моделей.*
13. *Які методи використовують для одержання ММ?*
14. *Наведіть методіку одержання математичних моделей елементів.*
15. *Які вимоги до методів і алгоритмів аналізу?*
16. *Які особливості постановки й розв'язування завдань аналізу на метарівні?*
17. *Яка кінцева мета перетворень математичних моделей?*

6.5. Постановка й підходи до розв'язування завдань аналізу

6.5.1. Вимоги до методів і алгоритмам аналізу

При виборі або розробці методу (алгоритму) аналізу насамперед установлюється область його застосування. Чим ширше коло завдань і ММ, які оголошені як припустимі для розв'язку даним методом, тем цей метод універсальнее.

У більшості випадків чітке й однозначне формулювання обмежень на застосування методу скрутна. Можливі ситуації, коли застережені заздалегідь умови застосування методу виконуються, однак задовільний розв'язок завдання не виходить. Отже, імовірність успішного застосування методу в застереженому заздалегідь класі завдань менше одиниці. Ця ймовірність є кількісною оцінкою важливої властивості методів і алгоритмів, називаного надійністю.

Відмови в розв'язку завдань можуть проявлятися в не збіжності ітераційного процесу, у перевищенні погрішностями гранично припустимих значень і т.п. Причинами відмов можуть бути такі фактори, як погана обумовленість ММ, обмежена область збіжності, обмежена стійкість.

У САПР повинні застосовуватися надійні методи й алгоритми. Для підвищення надійності часто застосовують комбінування різних методів, автоматичне параметричне настроювання методів і т.п. В остаточному підсумку наближаються до значень імовірності, рівних або близьких до одиниці. Застосування методів з $P < 1$ хоча й небажане, але допускається в окремих випадках при обов'язковій умові, що некоректне розв'язування розпізнається й відсутня небезпека прийняти таке розв'язування за правильне.

До методів і алгоритмів аналізу, як і до ММ, висувають вимоги точності й економічності. Точність характеризується ступенем збігу точного розв'язування рівнянь заданої моделі й наближеного розв'язування, отриманого за допомогою оцінювального методу, а економічність – витратами обчислювальних ресурсів на реалізацію методу (алгоритму).

Оцінки точності й економічності можуть бути теоретичними й експериментальними.

Теоретичні оцінки погрішностей, трудомісткості необхідних обчислень і об'ємів, що брали участь у переробці масивів звичайно виконуються при прийнятті ряду припущень про характер використовуваних ММ. Прикладами можуть служити припущення про гладкість або лінійність функціональних залежностей, некореляційності параметрів і т.п. Незважаючи на наближеність теоретичних оцінок, вони являють значну цінність, тому що звичайно характеризують ефективність застосування досліджуваного методу не до

одній конкретній моделі, а до деякого класу моделей. Наприклад, саме теоретичні дослідження дозволяють установити, як залежать витрати машинного часу від розмірності й обумовленості ММ при застосуванні методів чисельного інтегрування систем ЗДР.

Однак теоретичні оцінки зручні для визначення характеру таких залежностей, але числові значення показників ефективності для конкретних випадків можуть бути досить наближеними.

Тому знаходять застосування також експериментальні оцінки, засновані на визначенні показників ефективності на наборі, що спеціально складаються ММ, названих тестовими. Тестові ММ повинні відбивати характерні риси моделей того класу об'єктів, які є типовими для розглянутої предметної області. Результати тестування використовуються для порівняльної оцінки методів і алгоритмів при їхньому виборі для реалізації в програмнім забезпеченні САПР.

6.5.2. Математична постановка типових завдань аналізу

Приклади завдань аналізу:

1) Аналіз динамічних процесів функціонування об'єктів виконується шляхом розв'язку систем ЗДР.

2) Аналіз статичних станів об'єктів також може бути виконаний шляхом розв'язку систем алгебраїчних рівнянь.

3) При проектуванні технологічних систем із системою автоматичного керування важливе значення має завдання аналізу стійкості. Аналіз стійкості може бути виконаний або безпосереднім інтегруванням системи ОДУ, або її дослідженні відповідно до відомих критеріїв стійкості.

4) Аналіз чутливості полягає у визначенні впливу внутрішніх і зовнішніх параметрів на вихідні параметри.

5) Статистичний аналіз виконується з метою одержання тих або інших відомостей про розподіл параметрів при завданні статистичних відомостей про параметри. Основний метод статистичного аналізу в САПР – метод статистичних випробувань (метод Монте–Карло).

Більшість завдань аналізу в САПР зводиться до розв'язку систем рівнянь алгебраїчних і звичайних диференціальних.

6.5.3. Особливості постановки й розв'язування завдань аналізу на метарівні

На метарівні використовується збільшений математичний опис досліджуваних об'єктів.

Одним з найбільш загальних підходів до аналізу об'єктів на метарівні є функціональне моделювання, розвинене для аналізу систем автоматичного керування. У рамках цього підходу ухвалюється ряд припущень, що спрощують. По-перше, на метарівні, як і на макрорівні, об'єкт представляється у вигляді сукупності елементів, зв'язаних один з одним обмеженим числом зв'язків. При цьому для кожного елемента зв'язку розділяються на входи й виходи.

Математична модель системи при функціональній моделюванні являє собою систему ЗДР, одержувану безпосереднім об'єднанням математичних моделей елементів. Таке об'єднання виражається в ототожненні змінних у входів, що з'єднуються, і виходів. Чисельні методи розв'язку ЗДР стосовно до моделей позначка– і макрорівня аналогічні.

Функціональне моделювання широке використовується для моделювання й аналізу систем автоматичного керування й регулювання з елементами енергетичних систем, функціонування яких пов'язане з передаванням між частинами систем енергії, кількості руху, тиску й т.п.

Імітаційна модель являє собою алгоритм, що описує зміни змінних стану на моделюваній відрізку часу. Передбачається, що зміна стану будь-якої змінної, називане подією, відбувається миттєво в деякий момент часу. Імітаційне моделювання – відтворення послідовності подій у системі при імовірнісному характері параметрів системи. Імітація функціонування системи при здійсненні великої кількості подій дозволяє зробити статистичну обробку накопичених результатів і оцінити значення вихідних параметрів.

За допомогою імітаційного моделювання інженер, що проектує систему, може підібрати задовольняючий його варіант, змінюючи дисципліни обслуговування заявок, варіюючи параметри обслуговуючих апаратів, їх кількість, способи сполуки в систему.

6.6. Постановка й підходи до розв'язку завдань синтезу

6.6.1. Класифікація завдань параметричного синтезу

До завдань параметричного синтезу ставиться сукупність завдань, пов'язаних з визначенням вимог до параметрів об'єкта, номінальних значень параметрів.

Процедури структурного синтезу ставляться до найбільш важко формалізуємим у процесі проектування. У той же час подальше підвищення ступені автоматизації проектування залежить у першу чергу від успіхів у розробці методів і алгоритмів структурного синтезу.

Завдання структурного синтезу класифікують по ряду ознак.

Залежно від стадії проектування, на якій проводиться синтез, розрізняють процедури:

1) вибору основних принципів функціонування майбутнього об'єкта (тут мова може йти про принципи інформаційних, організаційних, фізичних і т.п.); у цій групі процедур часто виділяють групу процедур вибору фізичних принципів дії (ФПД);

2) вибору технічного розв'язку в рамках заданих принципів функціонування;

3) оформлення технічної документації.

Вибір основних принципів функціонування об'єкта виконується на ранніх стадіях проектування, звичайно на стадіях науково–дослідних робіт. При одержанні ТЗ на розробку нового об'єкта проектувальник намагається розв'язати завдання на основі наявних знань і накопиченого досвіду. При цьому йому необхідно враховувати досягнутий глобальний технічний рівень, який дає прототипи й орієнтири, що суттєво допомагають при зовнішньому проектуванні. Однак орієнтація тільки на накопичений досвід часто скоує творчу фантазію проектувальника й заважає побачити принципово нові розв'язки. Ця особливість виконання процедур синтезу одержала назву психологічної інерції.

У САПР засобу автоматизації процедур синтезу принципів розв'язків повинні допомагати проектувальникові як в обліку накопиченого досвіду, так і в подоланні психологічної інерції. Накопичений досвід втілюється в спеціальних розділах бази даних, наприклад у розділі типових розв'язків, що використовувалися раніше, розділі фізичних ефектів. Одержанню оригінальних розв'язків сприяє наявність розділу, що містить опис евристичних приймань синтезу.

Евристичні прийманья можна згрупувати в прийманья змін у просторі, у часі, перетворень форми, матеріалів, видів руху, модифікацій додаванням, виключенням, заміною й т.п., наприклад: «замінити орієнтацію об'єкта в просторі – повернути низом нагору», «сполучити операції в часі», «зробити об'єкт прозорим», «розділити потік, що рухається, на два або трохи» і т.п. Такі розділи можуть постійно поповнюватися.

Вибір технічних розв'язків виконується на наступних стадіях проектування й ставиться до завдань конкретизації раніше обраних принципів побудови й функціонування об'єкта. Тут також корисно використовувати бібліотеки типових розв'язків.

У процедурах оформлення технічної документації синтезується не зміст, а форма вистави описів проектних розв'язків. Оформлення технічної документації регламентується правилами ЄСКД. Для перетворення описів із внутрішньої мови ПК у текстову й графічну документацію, виконувану

на обладнаннях документування відповідно до ЄСКД, потрібно здійснити ряд процедур, пов'язаних із трансляцією мовних вистав, компонуванням текстової й графічної інформації зі сторінок і аркушам, розміщенням фрагментів графічних зображень на папері, синтезом проєкцій, перетинів, проставлянням розмірів, допоміжних написів і т.п.

Специфічна особливість оформлення технічної документації як процедури структурного синтезу полягає в її рутинному характері, т.с.в очевидної можливості її формалізації. Це обумовлює, з одного боку, актуальність, а з іншого сторони, можливість формалізації. Тому в існуючих САПР, як правило, є підсистеми оформлення технічної документації. Однак принципова можливість формалізації ще не означає легкості її практичного здійснення. Обмежуючими факторами в автоматизації виготовлення складних схем і креслень є такі недоліки використовуваних обладнань машинної графіки, як недостатнє задоволення вимог точності зображень, швидкості креслення, інформаційної ємності й більші витрати машинного часу на виконання програм машинної графіки.

Залежно від можливостей формалізації завдання синтезу діляться на кілька рівнів складності.

До рівня I складності відносять завдання, у яких потрібне виконання лише параметричного синтезу, а структура об'єкта визначена або специфікою ТЗ, або результатами процедур, виконаних на попередніх етапах проєктування.

До рівня II складності відносять завдання, у яких можливий повний перебір відомих розв'язків. Отже, це комбінаторні завдання, тобто завдання вибору елементів у кінцевих безлічах, причому в безлічах малої потужності. У цих завданнях або елементи безлічі структур являють собою заздалегідь складені й включені в базу даних описи структур, або є алгоритм, що дозволяє по черзі одержувати й аналізувати всі елементи безлічі за прийнятний час.

До рівня III складності відносять комбінаторні завдання, які при існуючих технічних і програмних засобах не можуть бути вирішені шляхом повного перебору за прийнятний час. Є велика кількість практичних важливих завдань синтезу, що ставляться до рівня III. Прикладами таких завдань є завдання компонування й розміщення заданого встаткування в обмежених просторах, проведення трас, більшість процедур оформлення технічної документації. До третього рівня зводяться багато завдань синтезу більш високих рівнів при прийнятті відповідних обмежень і допущень.

До рівня IV складності відносять завдання пошуку варіантів структур. Формалізація саме таких завдань представляє найбільші

труднощі. Їхньою особливістю є можливість одержання нових оригінальних патентоспроможних розв'язків.

До рівня V складності відносять завдання синтезу, розв'язок яких є проблематичним. Якщо в завданнях рівня IV можливості створення структур безперечні й головна проблема полягає в знаходженні серед багатьох генерируемых структур деяк, що задовольняє певним кількісним вимогам, то в завданнях рівня V одержання розв'язку еквівалентно пропозиції принципово нових основ побудови цілого класу технічних об'єктів.

Існують і інші ознаки класифікації завдань синтезу. Серед них виділимо класифікацію по типу синтезованих структур, що породжує завдання одномірною, схемною й геометричною синтезу.

При одномірному синтезі вирішуються завдання впорядкування елементів структури в одномірних просторах (наприклад, завдання складання розкладів, синтезу процесів, що представляються у вигляді впорядкованої послідовності елементів).

При схемному синтезі визначається структура об'єкта без конкретизації його геометричних форм. Характерні приклади – синтез технологічних, структурних, функціональних схем і т.п.

Геометричний синтез полягає в конкретизації геометричних властивостей проєктованих об'єктів і містить у собі охарактеризовані вище завдання оформлення конструкторської документації, а також завдання позиціонування й синтезу поверхонь і траєкторій. До завдань позиціонування ставляться завдання взаємного розташування в просторі елементів заданої геометричної форми, наприклад завдання вибору місця для розташування встаткування складної форми, синтез композицій із заданих одиниць устаткування й т.п. До синтезу поверхонь і траєкторій ставляться завдання проєктування поверхонь, обтічних потоком газу або рідині або напрямних такий потік (насадки в скрубери), синтезу траєкторії, що рухаються робочих органів технологічних автоматів, синтезу профілів несучих конструкцій і ін.

6.6.2. Підходи до розв'язку завдань структурного синтезу

Формалізація процедур структурного синтезу на кожному ієрархічному рівні здійснюється на основі одного з наступних основних підходів: 1) перебір; 2) послідовний синтез; 3) трансформація описів різних аспектів.

Класифікація алгоритмів структурного синтезу дано на рис. 11.

Переборні алгоритми характеризуються можливостями оцінки тільки варіантів готових закінчених структур. Такі структури або створюються

заздалегідь і зберігаються в базі даних, або генеруються по тем або іншим правилам із заданого набору елементів. Повний перебір варіантів можливий лише в найпростіших випадках. Як правило, перебір повинен бути частковим (скороченим). Переборні алгоритми містять у собі частини: 1) вибору або генерації чергового варіанта; 2) оцінки варіанта; 3) ухвалення рішення.

Алгоритми вибору варіанта при частковому переборі можуть бути засновані на випадковій вибірці, використанні евристичних здатностей людини в діалогових режимах роботи з ПК, установленні кореляції деяких параметрів, що характеризують структуру, із заданими вимогами до об'єкта. Наприклад, типові структури можуть бути згруповані в базі даних по діапазонах потужностей, частот, швидкостей і інших показників ефективності проєктованих об'єктів.

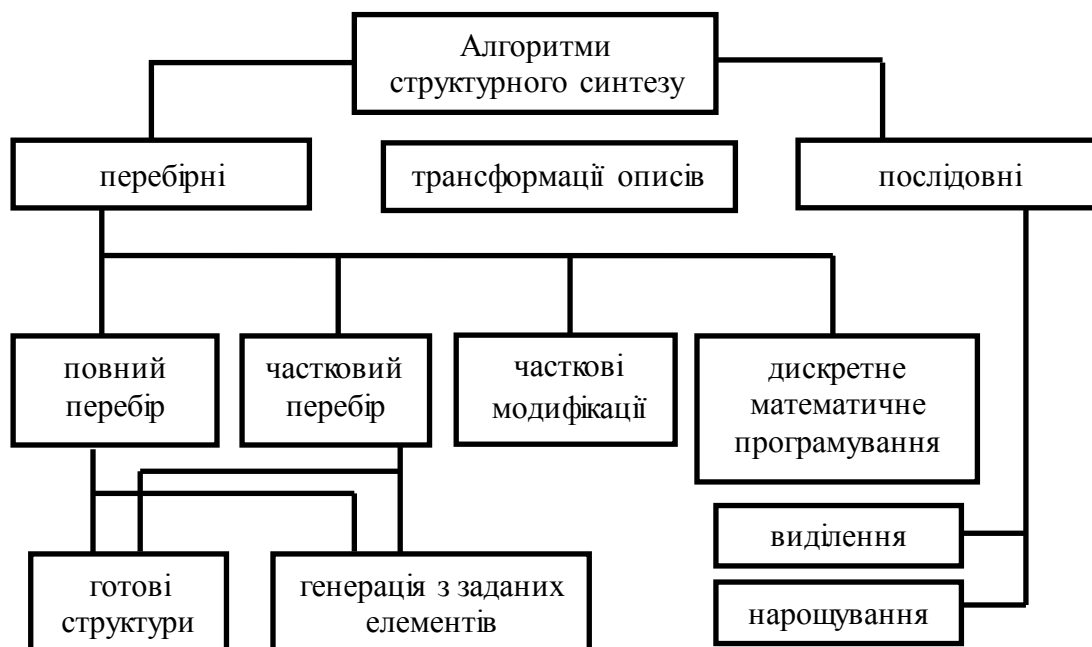


Рис. 11 – Класифікація алгоритмів структурного синтезу

Для завдань третього рівня складності важко, а для завдань четвертого рівня вже неможлива побудова безлічі закінчених структур для зберігання в базі даних. У таких випадках замість закінчених структур зберіганню підлягають опису типових елементів об'єктів. Це пов'язане з тим, що, як правило, кількість типів елементів суттєво менше кількості можливих структур із цих елементів. Автоматизація синтезу при цьому заснована на алгоритмізації процедури генерації структур з типових елементів. Від успіху цієї алгоритмізації залежать можливості автоматизації синтезу і якість синтезованого об'єкта. Тому що загальних

алгоритмів генерації, орієнтованих на структури різноманітних технічних об'єктів, не існує, то такі алгоритми входять у проблемно–орієнтоване математичне забезпечення.

Частковий перебір найчастіше вдається здійснити на основі часткових модифікацій деяких вихідних структур. Останні виходять або з обмеженого безлічі готових структур, або за допомогою економічних послідовних алгоритмів. Далі вносяться деякі модифікації. Наприклад, при розміщенні мікросхем на друкованій платі або встаткуванні у відсіку корабля такі модифікації можуть являти собою парні перестановки – взаємні зміни місць двох елементів устаткування.

Оцінка варіанта структури, сгенерованої або обраної з бази даних, виконується за допомогою процедури параметричного синтезу й аналізу. Використання повних математичних моделей і процедур параметричної оптимізації, як правило, характеризується високою трудомісткістю, що не дозволяє в процесі перебору переглянути достатню кількість варіантів структур. Тому переборні алгоритми застосовують тільки в тих випадках, коли для оцінки вдається застосувати спрощені математичні моделі й деякі непрямі критерії переваги варіантів, що відрізняються простотою обчислення. Лише стосовно невеликого числа відібраних перспективних варіантів слід застосовувати аналіз по повних математичних моделях і оптимізацію параметрів.

Ухвалення рішення при переборі засноване на порівнянні результатів оцінки чергового варіанта структури із кращої з раніше переглянутих структур.

Послідовні алгоритми характеризуються поетапним розв'язком завдання синтезу з можливостями оцінки, що виходять проміжних структур. Розрізняють два способи одержання закінченої структури: 1) нарощування; 2) виділення.

Спосіб 1 – нарощування. При нарощуванні відбувається почергове додавання елементів до деякої вихідної структури (в окремому випадку за вихідну структуру може бути прийнятий який–небудь елемент). Прикладами алгоритмів нарощування можуть служити послідовні алгоритми компонування й розміщення встаткування. Наприклад, при розподілі встаткування по конструктивних блоках основою оцінок варіантів може служити кількість межблочних зв'язків. Тоді перевага потрібно віддавати тем проміжним варіантам, при яких більше число зв'язків виявляється сконцентрованим у межах одного блоку.

Спосіб 2 – виділення. При виділенні з деякої надлишкової узагальненої структури поступово віддаляються зайві елементи. Алгоритми виділення можуть використовуватися, якщо попередньо складена узагальнена структура для розглянутого класу об'єктів.

Прикладами таких узагальнених структур можуть служити узагальнені технологічні маршрути проходження сировини в технологічній лінії. В узагальнений маршрут включають операції, які можуть зустрітися при різних комбінаціях технологічних і фізико–хімічних особливостей властивих даному виду сировини. Подальше зіставлення узагальненого маршруту дозволяє забрати зайві операції й сформувавши конкретний технологічний маршрут.

Реальні алгоритми структурного синтезу звичайно є комбінованими: поєднують у собі риси більш ніж одного підходу, наприклад у послідовних алгоритмах нарощування можливий перебір претендентів на роль чергового елемента, що додається.

Обмежені можливості формалізації процедур синтезу привели до широкого використання в САПР діалогових систем синтезу, у яких процедури оцінки виконує ПК, а ухвалення рішення залишається за людиною. Що стосується безпосередньої генерації структур, те тут ПК і людей можуть ефективно взаємодіяти. Типове призначення ПК – підказати типові варіанти й евристичні прийманья. Типова роль людини – реалізувати евристичні прийманья й модифікації структур. Іноді вдається формалізувати застосування евристичних приймань і одержати алгоритми синтезу, виконувани без участі людини. Однак наявність ефективних алгоритмів автоматичного синтезу скоріше виключення, чому правило. Тому основний практичний підхід до розв'язку завдань структурного синтезу в сучасних САПР – це використання евристичних приймань синтезу в діалоговому режимі роботи з ПК.

Одержують розвиток експертні системи, які сприймають від висококваліфікованих фахівців знання у відповідній предметній області, а потім використовують їх при розв'язку завдань структурного синтезу. Можливі форми вистави знань в ПК – семантичні мережі. У семантичних мережах вершинам відповідають поняття, а зв'язкам – відносини між поняттями. Програмне забезпечення експертних систем служить для генерації варіантів структури й для зв'язку користувача із системою в режимі діалогу.

6.7. Інформаційне забезпечення САПР

У комплекс засобів автоматизованого проектування входить інформаційне забезпечення, яке являє собою сукупність документів, що описують стандартні проектні процедури, типові проектні розв'язки, типові елементи й комплектуючі вироби, матеріали й інші дані, а також файли й блоки даних на машинних носіях із записом зазначених документів. Головною метою створення інформаційного забезпечення САПР є

розробка інформаційної системи, що дозволяє правильно й швидко вирішувати проектні завдання. Це може бути досягнуте своєчасною видачею джерелу запиту повної й достовірної інформації для виконання певної частини проектно–конструкторського процесу.

Основні вимоги до інформаційного забезпечення САПР наступні:

1. Наявність необхідної інформації для забезпечення як автоматизованих, так і ручних процесів проектування.

2. Можливість зберігання й пошуку інформації, що представляє результат ручних і автоматизованих процесів проектування.

3. Достатній об'єм сховищ інформації. Структура системи повинна допускати можливість нарощування ємності пам'яті разом з ростом обсягу інформації, що підлягає зберігання. Одночасно необхідно забезпечити компактність збереженої інформації й мінімальне зношування носіїв інформації.

4. Достатня швидкодія системи інформаційного забезпечення.

5. Можливість швидкого внесення змін і коректування інформації, доведення цих змін до споживача, а також одержання твердої копії документа.

При створенні інформаційного забезпечення САПР основна проблема полягає в перетворенні інформації, необхідної для виконання проектно–конструкторських робіт над певним класом об'єктів, у форму, прийнятну й найбільш раціональну для машинної обробки, і висновку інформації на ПК у вигляді, зручному для сприйняття людиною.

Безліч даних, які потенційно можуть використовуватися при функціонуванні САПР або служити, що запам'ятовується результатом її роботи, утворюють інформаційну базу даних (БД) системи. Типовими групами даних інформаційного забезпечення автоматизованого проектування є класифікатори й таблиці відповідності для них, науково–технічна й розрахунково–проектна (оперативна) інформація.

Схема інформаційного забезпечення САПР наведена на рис. 12:



Рис. 12 – Схема інформаційного забезпечення САПР

Інформаційне забезпечення САПР можна представити у вигляді схеми, з якої видно, яке місце займає база даних, і яке взаємодія інформаційної системи із проектними модулями. Ця взаємодія здійснюється через спеціально організований інтерфейс, який захищає проектні програмні модулі від впливу специфіки програмної реалізації інформаційної системи, підтримуючи тим самим незалежність проектних операцій від виду вистави інформації в базі даних. У функції цього інтерфейсу входить також узгодження й сполучення інформаційної системи й проектних модулів по форматах записів (інформаційний аспект), по колах і позначенням даних (змістовний аспект), і по програмних засобах, мовах програмування й т.п. (програмний аспект).

Складність розробки бази даних обумовлена тим, що формування її структури можливо тільки після розробки алгоритмів проектування.

Ступінь розробки алгоритмів повинна бути доведена до машинної реалізації, тому що структура бази даних повинна враховувати специфіку процесу автоматизованого проектування. Але для розробки пакета прикладних програм (ППП) необхідні відомості про структуру бази даних. Отже, інформаційне забезпечення й спеціальне програмне забезпечення САПР повинні створюватися паралельно.

Інформація, використовувана при проектуванні, може бути розділена на статичну й динамічну.

Статична інформація характеризується порівняно рідкими змінами. До цієї інформації слід віднести дані ТЗ на проектування й довідкові дані, що мають великий об'єм. Формування, завантаження й коректування довідкових даних здійснюється винятково адміністратором бази даних, тобто системним програмістом, що формує базу даних. Адміністратор бази даних підтримує безпосередній контакт зі службою нормалізації й стандартизації проектної організації. Об'єм даних ТЗ на проєктований об'єкт значно менше об'єму довідкових даних, але коло осіб, що мають право вносити зміни в ТЗ, повинен бути ще більш обмежений, чому коло осіб, що мають право коректувати довідкові – дані.

Динамічна інформація складається з даних, що накопичуються для виконання певних операцій проектування (проміжні дані), і дан, що представляють собою результат проектування. Проміжні дані постійно міняються при функціонуванні САПР. Вносити зміни у варіанти проектних розв'язків має право тільки конструктор–виконавець і його керівник.

Інформація, використовувана при проектуванні, по виду її представлення може бути підрозділена на документальну, іконографічну й фактографічну. Документальна інформація – це метаінформація. Вона являє собою пошуковий образ документа, що перебуває в базі даних.

При необхідності може бути видана сукупність документів, що задовольняють пошуковому образу. У САПР інформація такого виду широко використовується для знаходження відомостей про аналоги об'єкта проектування, про патенти й авторських посвідченнях, методиці проектування й розрахунків, результатах випробування й т.п.

Інформація, яка втримується в зображеннях документів (креслення, фотографії і т.д.), в ідентичній формі вистави називається іконографічною. Для її зберігання використовують спеціальні носії, пошук якої може здійснюватися за допомогою супровідної її документальної інформації.

Основу бази даних САПР становить фактографічна інформація. Вона являє собою числові й буквені довідкові дані про матеріали, ціни, комплектуючих виробів, про спроектованих у САПР об'єктах і т.п. Сюди ж ставляться дані, необхідні для виконання розрахунків: коефіцієнти, таблиці, аппроксимированное графічні залежності і т.д.

У цей час розрізняють два види автоматизованих інформаційних систем САПР – банки даних і інформаційно–пошукові системи (ІПС). Ці системи різняться видом збереженої й оброблюваної інформації й інформаційною мовою, за допомогою якого здійснюється опис даних і маніпуляції з ними. Ці відмінності накладають певні обмеження на організацію інформації в системі (структури даних, формати, зв'язки, доступ і т.д.) і на програмну реалізацію.

Функціонування інформаційної системи забезпечується програмно–технічними засобами (машинна організація) і засобами внемашинної організації.

Програмно–технічні засоби інформаційних систем – це, як правило, спеціальні ППП, які забезпечують нагромадження (уведення, зміни, модифікацію), зберігання й пошук інформації.

До засобів внемашинної організації даних в інформаційних системах ставляться:

- система класифікації й кодування інформації;
- система ведення інформаційних масивів (вхідні форми й таблиці, оперативні документи на зміну інформації і т.д.);
- методичні інструментальні матеріали для системного персоналу (служби адміністрації).

Проектування, організацію функціонування й розвиток інформаційної системи забезпечує системний персонал.

В інформаційно–пошукових системах САПР зберігається й обробляється, як правило, документальна інформація.

Інформаційна мова в ІПС – це обмежений (нормований) природня мова, за допомогою якого описують зміст документальних джерел

інформації (статей, книг, стандартів і т.д.) у вигляді набору понять, що відбивають основний зміст документів.

В інформаційно–пошукових системах ППП не має спеціальної назви, і говорять про ППП для ПС.

Одиницею зберігання інформації в ПС є опис конкретного документа. Прообразами описів, що накопичуються в системі, документів служать деякі зовнішні первинні документи, що містять інформацію, використовувану в процесі автоматизованого проектування. Такими первинними документами можуть бути звіти по наукових і конструкторських роботах, патенти, довідники, статті, каталоги і т.д.

З погляду користувача, кожний опис документа являє собою коротку бібліографію джерела інформації (автор, заголовок, назва джерела, рік випуску, видавництво, анотація або реферат).

Для забезпечення взаємодії користувачів і ПС служить нормативний (фіксований) словник понять, за допомогою якого можна описувати зміст, як документів, так і запитів. Такий словник називається тезаурусом. Тезаурус є моделлю системи понять предметної області.

Тому документ, записаний на згадку ПК, крім бібліографії, має пошукові ознаки або пошуковий образ, який складається за певними правилами за допомогою понять тезауруса. Запити до системи формулюються також за допомогою тезауруса за певними правилами.

Сукупність правил перекладу із природньої мови на мову системи, і тезаурус утворюють інформаційно–пошукова мова системи.

Сукупність документів у пам'яті ПК утворює послідовний масив (файл). Пошук інформації в системі здійснюється шляхом порівняння понять пошукового образу документа й понять запиту. При їхньому повному або частковому збігу (залежно від критерію видачі) документ вважається релевантним, тобто відповідним до запиту.

Але при такій послідовній організації інформації пошук і порівняння з усіма пошуковими образами зайняли б багато часу. Для більш ефективної організації інформації в систему вводять інверсний (пошуковий) масив, у яким кожному поняттю тезауруса поставлений у відповідність набір номерів документів, у яких це поняття зустрічається.

До функцій ППП для ПС відносять:

- ведення й використання інформаційно–пошукової мови;
- уведення, нагромадження й зміна інформації;
- підтримка інверсного масиву;
- пошук і видача інформації із запитів.

ПС описаного вище типу називаються документальними ПС.

Існує ПС фактографічного типу. Вони відрізняються тим, що в них зберігання й пошук здійснюється не по набору понять, а по набору ознак

яких–небудь об'єктів, тобто крім тезауруса в системі передбачений ще й спеціальний класифікатор ознак об'єктів. ІПС фактографічного типу більш близькі по своїй організації до банок даних.

Найбільш високою формою організації інформаційного забезпечення більших САПР є банки даних. Вони являють собою проблемно–орієнтовані інформаційно–довідкові системи, які забезпечують уведення необхідної інформації, автономне від конкретних завдань ведення й збереження інформаційних масивів, і видачу необхідної інформації із запиту користувача або програми.

У банках даних використовується інформація фактографічного виду.

Інформаційна мова – сукупність двох мов: мови опису структури даних і мови маніпулювання даними. Пакетом прикладних програм цих інформаційних систем є система керування базами даних (СКБД), яка забезпечує роботу з інформаційною базою, організованою у вигляді структури даних. По цій заздалегідь сформованій структурі (моделі) даних проводиться їхній опис, зберігання й пошук.

У СКБД опис структури інформації прийнято називати схемою. Залежно від рівня подання інформації розрізняють наступні типи схем:

- концептуальний (загальне уявлення про інформаційну базу предметної області);
- зовнішній (представлення інформації з боку користувачів або завдань);
- внутрішній (представлення інформації в базі даних, тобто на фізичних носіях – магнітних дисках).

Серед усіх перерахованих рівнів представлення інформації концептуальний рівень займає особливе місце. Він зв'язує зовнішній рівень із внутрішнім і забезпечує їхню відносну незалежність, тобто можливість зміни зовнішньої схеми при незмінній внутрішній і навпаки. Роль концептуального рівня полягає, насамперед, у тому, що на ньому відображається та частина загальної інформаційної бази, яка повинна бути представлена у вигляді бази даних.

Концептуальний рівень забезпечує незалежність СКБД від конкретного виду ПК. Формалізований опис інформаційної бази на концептуальному рівні, як правило, здійснюється в термінах конкретної СКБД. Але на початковому етапі проектування інформаційної бази ще невідомо, яка СКБД задовольняє вимогам створюваного банку даних. Тому вводиться додатковий рівень, на якому можна було б задати опис предметної області, не стосуючись питань реалізації, тобто використання конкретної СКБД. Його називають логічним, або інформаційно–логічним (інфологічним). Інформаційно–логічна модель визначає інформаційні потреби проектованої системи й характеристики інформаційної бази.

СКБД виконує наступні основні функції:
визначення баз даних (тобто опис концептуального, зовнішнього й внутрішнього рівнів схем);
запис даних у базу;
організацію зберігання даних (зміна, доповнення, реорганізація даних);
надання доступу до даних (пошук і видача даних).

Додаткові функції (діалог, багатокористувацький режим і т.д.) можуть бути реалізовані у вигляді пакетів програм оточення СКБД.

Для визначення даних і доступу до них у СКБД є мовні засоби (спеціальні мови). Так, визначення даних (опис концептуальному, внутрішньої й зовнішньої структур) забезпечується за допомогою мови визначення даних. Функції доступу до даних реалізуються за допомогою мови маніпулювання даними й мови запитів. По типу підтримуваних структур розрізняють наступні види СКБД: ієрархічні, мережні й реляційні (табличні).

6.8. Лінгвістичне забезпечення САПР

Відповідно до класифікації мов САПР розрізняють мови програмування й проектування.

Мови програмування. Мови програмування – мови, призначені для написання програмного забезпечення. Ці мови – засіб розроблювача САПР.

До мов програмування висувають вимоги зручності використання, універсальності й ефективності об'єктних програм (тобто програм, отриманих після трансляції на машинну мову). Зручність використання виражається у витратах часу програміста на освоєння мови й головним чином на написання програм на цій мові. Універсальність визначається можливостями мови для опису різноманітних алгоритмів, характерних для програмного забезпечення САПР, а ефективність об'єктних програм – властивостями використовуваного транслятора, які, у свою чергу, залежать від властивостей мови. Ефективність оцінюється витратами машинних часу й пам'яті на виконання програм.

З позицій універсальності й ефективності об'єктних програм найкращими властивостями мають машинно–орієнтовані мови. Близькість до машинних мов (мовам машинних команд) обумовлює простоту й ефективність трансляторів на машинну мову, названих асемблерами. Машинно–орієнтовані мови називають мовами асемблера або автокодами. Однак мови асемблера незручні для людини, їх використання знижує продуктивність праці програмістів. Тому їх

застосовують для розробки лише тих модулів програмного забезпечення САПР, які вимагають для свого виконання більших обчислювальних ресурсів, що суттєво впливають на загальні витрати машинних часу й пам'яті.

Мови проектування. Мови проектування – мови, призначені для опису інформації про об'єкти й завданнях проектування. Більшість цих мов ставиться до засобів користувача САПР.

Серед мов проектування виділяють мови вхідні, вихідні, супроводу, керування, проміжні й внутрішні.

Вхідні мови служать для завдання вихідної інформації про об'єкти й завданнях проектування й містять у собі мови опису об'єктів (МОО) і мови опису завдань (МОЗ). Перші служать для опису властивостей проєктованих об'єктів, а другі – для опису завдань на виконання проектних операцій і процедур.

З рис. 13 видно, що МОЗ у свою чергу діляться на мови схемні, графічні й моделювання. Ці мови використовуються для опису вихідної інформації, представлені у вигляді відповідно деякої схеми, конструкторського креслення, алгоритму функціонування. Схемні мови широко застосовують при описі принципів електричних схем у підсистемах проектування електронних обладнань, функціональних схем – у підсистемах функціонально–логічного проектування ПК; графічні мови – основа лінгвістичного забезпечення в підсистемах геометричного моделювання й машинної графіки; мови моделювання розвинені в підсистемах імітаційного моделювання систем масового обслуговування.

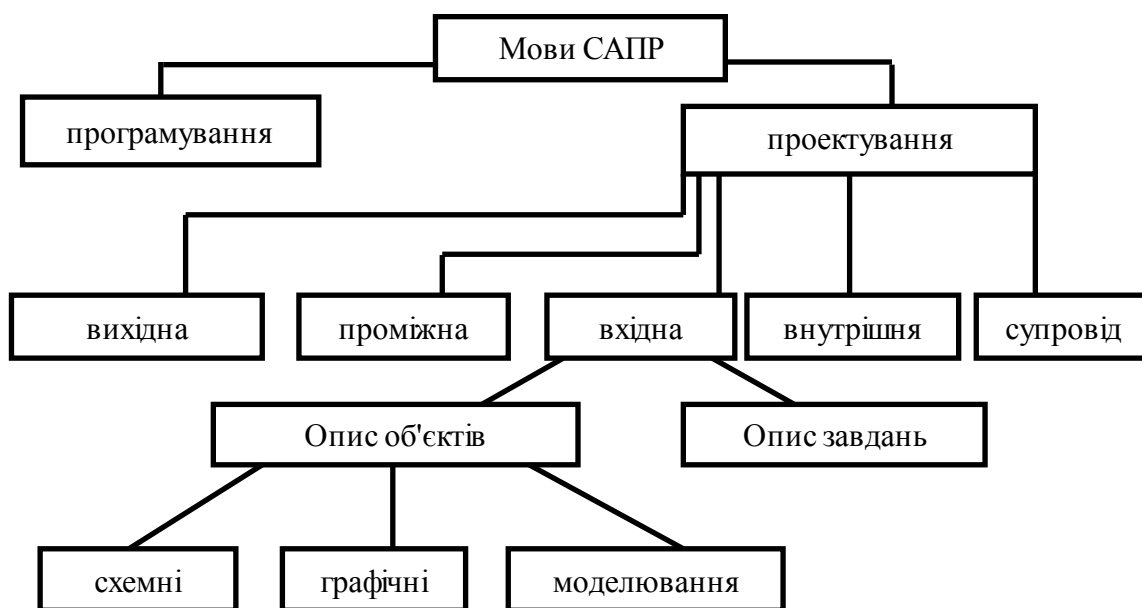


Рис.13 – Лінгвістичне забезпечення САПР

Вихідні мови використовуються для вираження результатів виконання проектних процедур на ПК.

Мови супроводу застосовуються для коректування й редагування даних при виконанні проектних процедур.

Мови керування служать для вистави керуючої інформації для програмно–керованого виконавчого встаткування, наприклад обладнань документування й технологічних автоматів.

Проміжні й внутрішні мови призначені для вистави інформації на певних стадіях її переробки в ПК. Гідність цих мов у тому, що на відміну від вхідних мов, що характеризуються більшою різноманітністю, вузькою проблемною орієнтацією й мінливістю при адаптації САПР до мінливих умов, вони є уніфікованими й більш універсальними. Недолік вузькоспеціалізованих мов – у необхідності істотної перебудови пов'язаної з ними програмної системи при зміні умов проектування. Недолік універсальних мов пов'язаний з їхньою громіздкістю й, отже, з незручностями застосування кінцевим користувачем.

Усунення зазначених вище недоліків виконується в програмних системах, при цьому вводяться універсальна проміжна мова, що відбиває особливості широкого класу проєктованих об'єктів, і вузькоспеціалізовані вхідні мови, орієнтовані на розроблювачів об'єктів з деяких підкласів проєктованих об'єктів.

Користувач становить опис вхідною мовою, цей опис за допомогою спеціальної програми, що транслює, називаної конвертором, переводиться на проміжну мову. Далі працює основний транслятор, що переводить опис завдання із проміжної мови в об'єктну робочу програму. Переваги дворівневого лінгвістичного забезпечення полягають у тому, що програмна система порівняно легко налаштовується на нові підкласи об'єктів. Для включення в систему нової вхідної мови досить розробити тільки конвертор із цієї мови на проміжну мову. Найбільш складна частина системи – основний мовний процесор – при цьому залишається без змін.

Внутрішні мови з'являються в результаті прагнення уніфікувати форми представлення інформації усередині ПК, що полегшує вирішення проблем інформаційного узгодження різних програм у САПР.

Мови процедурні й непроцедурні. Мови проектування, призначені для опису процесів, що розвиваються в часі, звичайно виявляються близькими до мов опису алгоритмів і називаються процедурними мовами. Мови проектування, призначені для опису структур проєктованих об'єктів, називаються непроцедурними мовами. Прикладами процедурних мов служить більшість мов опису завдань і мов моделювання систем на метарівні, непроцедурних мов – схемні мови, характер яких був пояснений при описі алгоритмів одержання математичних моделей систем.

Як правило, для користувача САПР непроцедурні мови більш зручні. За допомогою непроцедурних мов безпосередньо описується вихідна схема або креслення, користувачеві потрібно лише дотримувати правил мови, не опікуючись про розробку моделюючого алгоритму. Формальний характер перекладу вихідного малюнка схеми в текст непроцедурною мовою полегшує розробку програмного забезпечення інтерактивних графічних систем, у яких вихідна інформація про об'єкт формується користувачем безпосередньо у вигляді малюнка на екрані дисплея. Кодування зображення відповідно до правил непроцедурної мови здійснюється автоматично.

Діалогові мови. Важливе значення для САПР мають діалогові режими роботи користувача з ПК. Лінгвістичне забезпечення діалогових режимів представляється діалоговими мовами. Фактично діалогова мова поєднує в собі засобу мов вхідного, вихідного й супроводу й служить для оперативного обміну інформацією між людиною й ПК. Розрізняють пасивний і активний діалогові режими й відповідно пасивні діалогові мови й активні діалогові мови.

У пасивному діалоговому режимі ініціатива діалогу належить ПК. Переривання обчислювального процесу в потрібних місцях виконання маршруту проектування й звертання до користувача здійснюються за допомогою діалогових програмних засобів, втілених у моніторній системі САПР або в моніторі ППП. Обігу ПК до користувача можуть бути наступних типів: запит, інформаційне повідомлення, підказка.

Запити передбачаються в тих випадках, коли від людини потрібно або завдання вихідних даних, або вибір між обмеженою безліччю можливих продовжень проектування. При запиті вихідних даних ПК висвечиває на екрані дисплея шаблон, що полягає з питання й порожніх позицій, у які потрібно помістити відповідь. Користувач повинен за допомогою клавіатури дисплея помістити у відведені позиції запитані числа або фрази. При запиті варіанта подальшого проектування на екрані з'являється меню – питання й кілька поіменованих варіантів відповіді. Користувачеві досить указати ім'я обраного з меню відповіді.

Інформаційні повідомлення використовуються для передачі користувачеві проміжних і остаточних результатів розв'язування, а також відомостей про стан його завдання.

В активному діалоговому режимі ініціатива початку діалогу може бути двосторонньою – можливості переривань обчислювального процесу є й в ПК, і в користувача. Активні діалогові мови можуть бути близькими до природньої мови людини, але з обмеженим набором можливих слів і фраз. Для активного діалогу потрібно суттєво більш складне програмне забезпечення, чому для пасивного.

6.9. Організаційне забезпечення САПР

Під організаційним забезпеченням розуміють сукупність документів, які визначають положення та структуру підрозділів САПР і включає в собі наступні документи: Положення про САПР; Інструкції працівників САПР (особові); Штатний – розклад САПР та ін.

Спеціалістів САПР доцільно поділяти на наступні групи: проектування; забезпечення; організаційна.

Група забезпечення виконує організацію по підтриманні працездатності САПР:

інформаційне обслуговування (накопичення та зберігання інформації);

обслуговування та підтримання працездатності окремих компонентів САПР (технічного, програмного);

зберігання та розмноження конструкторських документів на машинних носіях.

Група проектування формується включно зі спеціалістів проектувальників, які виконують проектні процедури та операції за допомогою САПР.

Група організації виконує роботи з забезпечення ефективного виконання усіх складових процесу проектування та розвитку САПР.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. *Наведіть вимоги до методів і алгоритмам аналізу.*
2. *Наведіть приклади завдань аналізу.*
3. *Які особливості постановки й розв'язування завдань аналізу на метарівні?*
4. *Наведіть класифікацію завдань параметричного синтезу.*
5. *У чому полягає особливість оформлення технічної документації як процедури структурного синтезу?*
6. *Охарактеризуйте рівні складності завдання синтезу.*
7. *Наведіть класифікацію алгоритмів структурного синтезу*
8. *Опишіть два способи одержання закінченої структури структурного синтезу.*
9. *Наведіть основні вимоги до інформаційного забезпечення САПР.*
10. *Чим характеризується статична інформація?*
11. *З чого складається динамічна інформація?*
12. *Що собою являє фактографічна інформація?*
13. *Наведіть види автоматизованих інформаційних систем САПР.*
14. *Що таке «програмно-технічні засоби інформаційних систем»?*

15. *Що є одиницею зберігання інформації в ІПС?*
16. *Що називається «тезаурусом»?*
17. *Перелічіть функції ППП для ІПС?*
18. *Опишіть ІПС фактографічного типу.*
19. *Що є формою організації інформаційного забезпечення САПР?*
20. *Що таке «система керування базами даних»?*
21. *Наведіть типи схем залежно від рівня подання інформації*
22. *У чому особливить концептуального рівня подання інформації?*
23. *Які функції виконує СКБД?*
24. *Які вимоги висувають до мов програмування?*
25. *Що таке «мови проектування»?*
26. *Які мови виділяють серед мов проектування?*
27. *Які мови відносять до мови опису завдань?*
28. *Для чого призначені проміжні й внутрішні мови?*
29. *Опишіть мови процедурні й непроцедурні.*
30. *Для чого використовують діалогові мови?*
31. *Що розуміють під «організаційним забезпеченням САПР»?*
32. *На які групи поділяють спеціалістів САПР?*

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛІНФОРМАЦІЇ