

**Крижанівська І.В.
Шостачук Д.М.**

ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Житомир 2013

Зміст

ВСТУП	6
Розділ 1. РОЗВИТОК СИСТЕМНИХ УЯВЛЕНЬ. ВИНИКНЕННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ.....	7
1.1. Історія розвитку системних уявлень	7
1.2. Предмет системного аналізу.....	12
1.3. Принципи системного підходу.....	18
1.4. Методи системного аналізу	20
1.5. Структура системного аналізу	28
1.6. Роль системного аналітика при розв'язанні складних задач	38
Розділ 2. СИСТЕМИ	43
2.1. Визначення системи.....	43
2.2. Класифікації систем	45
2.3. Властивості систем	47
2.4. Великі та складні системи	50
2.5. Синергетика	52
Розділ 3. МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ	58
3.1. Моделювання як метод наукового пізнання.....	58
3.2. Визначення моделі.....	61
3.3. Функції і класифікація моделей	63
3.3.1. Функції моделей.....	63
3.3.2. Класифікації моделей	64
3.3.3. Фізичні моделі	66
3.3.4. Математичні моделі	67
3.4. Множини. Операції над множинами	70
3.5. Моделі складу системи	75
3.6. Моделі структури системи	78
3.7. Функціональна модель системи	81
3.8. Скінченні автомати.....	84
3.9. Графові моделі системи	87
3.10. Приклади використання імітаційного (комп'ютерного) моделювання	96

3.11. Основні методології опису виробничих процесів	105
3.11.1. Загальні відомості про методології моделювання	105
3.11.2. Нотація IDEF0	106
3.11.3. Нотація IDEF3	108
3.11.4. Нотація DFD.....	109
3.11.5. Блок-схеми.....	112
3.11.6. Мова моделювання UML	113
3.11.7. Методологія ARIS	121
Розділ 4. ЦІЛІ СИСТЕМ: ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ	124
4.1. Роль цілей в керуванні складними системами	124
4.2. Ціль як модель	126
4.3. Методики системного аналізу цілей	127
4.4. Аналіз цілей в складних системах	134
Розділ 5. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	138
5.1. Альтернативи та критерії.....	138
5.2. Проблема вибору та прийняття рішень	140
5.3. Прийняття рішень в складних системах управління	143
5.4. Інформаційні аспекти системного аналізу ССУ	146
Розділ 6. СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ.....	148
6.1. Особливості складних систем	148
6.2. Класифікації ТК як складних систем	148
6.3. Системний аналіз ТП як об'єктів керування	150
6.4. Структурний аналіз складної системи управління	154
6.5. Моделювання технічної структури складної системи	159
6.6. Декомпозиція технічної структури складних систем управління	162
Розділ 7. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ.....	164

7.1. Методика проектування та розвитку системи керування підприємством	164
7.2. Аналіз факторів, що впливають на створення та функціонування підприємства	166
7.3. Аналіз цілей та функцій системи керування підприємством	170
7.4. Розробка організаційної структури підприємства.....	173
7.5. Інформаційні моделі виробничих систем.....	182
7.5.1. Ланки масового обслуговування	182
7.5.2. Транспортні та задачі, що до них зводяться	186
7.5.3. Вибір гнучкості виробничої структури.....	190
7.6. Застосування системного аналізу при розробці автоматизованих інформаційних систем.	194
Додаток 1.	Ошибка! За
Література:.....	207

ВСТУП

Аналітичний метод дослідження, який здавна притаманний людському мисленню, був усвідомлений та сформульований як самостійний технічний прийом ще в XVII ст. Успіх та значення аналітичного методу полягає не тільки в тому, що складне ціле можна розділити на менш складні частини, а і в тому, що при з'єднанні їх необхідним чином ці частини знову утворюють єдине ціле. Цей момент агрегування частин в ціле є кінцевим етапом аналізу, оскільки лише після цього ми зможемо пояснити ціле через його частини – у вигляді структури цілого.

Аналітичний метод має величезне значення в науці і на практиці. Розкладення функції в ряди, диференційне та інтегральне числення, розбиття неоднорідних областей на однорідні з наступним “зшиванням” розв’язків – в математиці, аналізатори спектрів, різноманітні фільтри, дослідження атомів та елементарних часток – у фізиці, анатомія та нозологія – в медицині, значна частина схемотехніки, конвеєрна технологія виробництва – все це суть ілюстрації ефективності аналізу. Успіхи аналітичного методу призвели до того, що самі поняття “аналіз” та “наукове дослідження” сьогодні часто сприймаються як синоніми. Ідеалом, вищою формою пізнання вважається причинно-наслідкова закономірність, при якій причина є необхідною і достатньою умовою здійснення наслідків.

Філософи та дослідники завжди звертали увагу на те, що роль синтезу не зводиться лише до “складання деталей”, які отримали при аналізі та підкреслювали значення цілісності системи; ця цілісність порушується при аналізі, при розкладенні системи втрачаються не тільки суттєві якості самої системи, зникають суттєві якості її частин, які виявилися виділеними. Тому вважають, що результатом аналізу є розуміння структури, знання принципів роботи системи, але аналіз не дає досліднику розуміння того, навіщо і як система це робить. Отже, не тільки аналітичний метод неможливий без синтезу, але й синтез неможливий без аналізу. Аналіз та синтез доповнюють, але не замінюють один одного, системне мислення містить в собі обидва методи.

Розділ 1. РОЗВИТОК СИСТЕМНИХ УЯВЛЕНЬ. ВИНИКНЕННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

1.1. Історія розвитку системних уявлень

Розвиток наукового знання та застосування його до практичної діяльності у XVIII-XIX ст. призвело до зростання диференціації наукових та прикладних напрямків. Виникло багато спеціальних дисциплін, які часто використовують подібні формальні методи, але змінюють їх із врахуванням конкретних потреб, що спеціалісти, які працюють в різних прикладних галузях (вузькі спеціалісти) перестають розуміти один одного.

В кінці XIX ст. різко збільшується кількість комплексних проектів і проблем, які потребують участі спеціалістів з різних галузей знань. Ускладнилось управління економікою країн. З'явилась потреба в спеціалістах широкого профілю, які володіють знаннями не тільки в своїй галузі, але й в суміжних галузях, та вміють ці знання узагальнювати, використовувати аналогії, формувати комплексні моделі.

Розуміння системи перетворилось в окрему загальнонаукову категорію, почали з'являтися узагальнені наукові напрямки, які історично іноді виникали паралельно на різній прикладній чи теоретичній основі та мали різні найменування. З точки зору сучасних уявлень системність завжди, усвідомлено чи ні, була одним з методів науки — кожен вчений минулого неусвідомлено оперував з системами та моделями. Найраніше була усвідомлена системність процесу пізнання, а тому дискусії з системних проблем найперше виникали у філософії, логіці, основах математики.

Питання про науковий підхід до керування складними системами чи не вперше в конкретному вигляді було поставлене *М.-А. Ампером* в його роботі “Дослідження філософії наук, або аналітичний виклад класифікації всіх людських знань” (част. I — 1834 р., II — 1843 р.), в якій була виділена наука про керування державою, названа

кібернетикою.

В той же час, коли *Ампер* лише прийшов до висновку про необхідність такої науки, польський вчений *Броніслав Трентовський*, професор Фрайбургського університету, видав в 1843 р. в Познані польською мовою книгу “Ставлення філософії до кібернетики як до мистецтва керування народом”. Метою *Броніслава Трентовського* була побудова наукових основ практичної діяльності керівника (“гі- берета”), який повинен вміти, виходячи з загального блага, примиряти деякі суперечності, інші — загострювати, скеровуючи розвиток до потрібної мети. За *Трентовським* дійсно ефективно керування повинно враховувати всі внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на об’єкт керування, а головна складність його реалізації пов’язана зі складністю поведінки людей.

Наступний етап у вивченні системності як самодостатнього предмета пов’язаний з прізвищем *А. А. Богданова* (справжнє прізвище — *Малиновський*), який протягом 1911—1925 рр. видав 3 томи книги “Всеобщая организационная наука (тектология)”. За *Богдановим-Малиновським* загальність тектології пов’язана з тим, що всі існуючі об’єкти та процеси мають певний рівень організованості, і тому на відміну від конкретних природничих наук тектологія повинна вивчати загальні закономірності організації для всіх рівнів організованості. Кількість архітектурних форм матерії незмірно бідніша, ніж різноманітність оточуючого нас середовища, що дає змогу створити теорію структурних схем організації матеріального світу. В суспільстві (і в біологічних системах) існують два начала — лабільне (пластичне) — це функціональний бік організму, його прагнення швидко адаптуватися, і консервативний — це архітектурна схема організації.

Лише активне використання зовнішнього середовища забезпечує збереженість системи. Здійснюючи позитивну селекцію, система за рахунок зовнішнього середовища збільшує кількість внутрішніх зв’язків, підвищує свою складність, підвищуючи разом з цим ефективність свого

функціонування. Збільшення кількості внутрішніх зв'язків, спеціалізація окремих елементів структури, розподіл обов'язків між ними, їх кооперування — все це призводить до підвищення ефективності системи. Але одночасно зростає й нестійкість системи загалом, слабшає її протидія до зовнішніх впливів, оскільки порушення будь-якого зв'язку може послабити її могутність і за певних умов поставити в критичний стан. Тому зв'язки в системі повинні постійно переглядатися.

Такий перегляд необхідний ще й з наступних причин: поряд з позитивною селекцією зростають також і внутрішні суперечності в системі, окремі її частини перетворюються з часом в більш-менш автономні компоненти, продукують свої власні самостійні цілі; маючи певні можливості до їх реалізації, вони можуть діяти всупереч спільній меті. Отже, необхідно застосовувати заходи, які б послабляли внутрішні суперечності.

Негативна селекція видаляє всі вибухонебезпечні джерела, долаючи внутрішній антагонізм організації, підвищує її однорідність, порядок в ній, систематизацію, структурну стійкість. Але одночасно негативна селекція зменшує функціональну ефективність організації.

А. А. Богданов розглядає всі явища як неперервні процеси організації та дезорганізації, і рівень організації тим вищий, чим сильніше властивості цілого відрізняються від простої суми його частин (пізніше цю властивість стали називати емерджентністю). Найважливішим в тектології є те, що основна увага звертається на закономірності розвитку організації, розгляд співвідношень між стійким та змінним, значення зворотних зв'язків, врахування власних цілей організації, значення відкритих систем. Богданов довів розгляд динамічних аспектів тектології до проблем криз (тепер це є предметом теорії катастроф) як таких моментів в історії кожної системи, коли необхідна корінна, “вибухова” перебудова її структури. Чим складніша система, тим

більше шансів у виникненні в процесі її розвитку кризової ситуації, що потребуватиме перебудови організації цієї системи. Тому необхідно навчитися аналізувати динамічний процес в системі та передбачати її розвиток.

За професією *Богданов* був медиком (закінчив в 1899 році медичний факультет Харківського університету), захоплювався філософією, створивши власну філософію — емпіріомонізм, брав активну участь у політичній діяльності, написав “Краткий курс политической экономии”, створив перший у світі Інститут переливання крові. Один з дослідів, які він проводив на собі, за твердженнями тогочасних біографів, закінчився трагічно, і *Богданов* загинув.

Відчутний вплив на усвідомлення деяких аспектів системності мають роботи *Н. Вінера*, особливо “Кібернетика”, що вийшла з друку в 1948 р. Спочатку *Вінер* визначав кібернетику як “науку про управління та зв'язок в тваринах та машинах”, а пізніше почав аналізувати процеси в людському суспільстві з точки зору кібернетики. З розвитком кібернетики стало зрозумілим, що це є самостійна наука зі своїм предметом вивчення та специфічними методами дослідження, хоча й нині є вчені, які вважають, що предмет досліджень в кібернетиці відсутній (до речі ще на Першому міжнародному конгресі з кібернетики — 1956 р., Париж — пропонувалося розглядати кібернетику як “мистецтво ефективної дії”, а не як науку). З кібернетикою пов'язаний розвиток таких системних уявлень, як типізація моделей систем, виявлення особливого значення зворотних зв'язків у системі, підкреслення принципу оптимальності в управлінні та синтезі систем, усвідомлення значення інформації та можливостей її кількісного описання, розвиток методології моделювання, особливо проведення обчислювальних експериментів із застосуванням комп'ютера (що привело до розвитку імітаційного моделювання).

Однак звичайне порівняння ідей *Я. Вінера* з ідеями *Б.*

Трентовського та А. Богданова дозволяє зробити висновок про те, що кібернетика не змогла дійти до розгляду дійсно складних систем, їй властивий певний техницизм, механіцизм. Інформаційні процеси в кібернетиці розглядаються лише з кількісного боку, принцип оптимальності реалізується лише в повністю формалізованих системах, при моделюванні інтелекту враховується лише логічна компонента мислення.

Отже, кібернетика мала в певних аспектах відчутний вплив на формування системних уявлень, але в межах кібернетичних уявлень виявилися нездоланні труднощі та недоліки кібернетичної теорії з точки зору системності.

Виникнення загальної теорії систем (ЗТС) пов'язують з іменем австрійського фізіолога *Людвіга фон Берталанфі*, який в 20—30-і роки займався питаннями системного підходу при вивченні живих організмів, розвивав загальну точку зору на необхідність цілісного підходу в біології та фізіології. У 1956 р. він організував наукове товариство з досліджень у області ЗТС, що видавало щорічні збірники наукових праць, в яких системний підхід розглядався як універсальна концепція, що об'єднує інтереси різноманітних наук. У 1962—1968 рр. *Л. фон Берталанфі* включав в ЗТС багато наук — кібернетику, факторний аналіз, теорію інформації, теорію рішень, топологію, теорію множин, теорію мереж, теорію автоматів, теорію масового обслуговування, теорію графів.

З 80-х рр.. ХХ ст. активно розвивається окремий науковий напрямок - *синергетика*, який досліджує загальні закономірності в процесах створення, стійкості та руйнування впорядкованих часових і просторових структур в складних неврівноважених системах різної фізичної природи (фізичних, хімічних, біологічних, соціальних тощо).

Останнім часом спостерігається зближення синергетики з теорією систем. Так, синергетичні дослідження використовують в теорії систем для

з'ясуванні закономірностей. Найбільш конструктивним із напрямків системних досліджень на сьогодні вважається системний аналіз (СА).

1.2. Предмет системного аналізу

Системний аналіз спрямований на розв'язання складних проблем. Проблема виникає тоді, коли є розбіжність між бажаним та дійсним, тобто це абстрактна категорія, що відображає розуміння людьми мотивів своєї діяльності. Проблеми породжуються та розв'язуються людьми, а тому поняття “проблема” має людські риси сприйняття, що породжує наступні труднощі:

- *неясність розуміння проблеми;*
- *складнощі постановки проблем на віддалену перспективу;*
- *складність класифікації проблем і, як наслідок, вибір неадекватних засобів їх розв'язання;*
 - *спотворена оцінка проблем (близькі, але дрібні проблеми затуляють великі, але віддалені);*
 - *неправильна оцінка значимості проблем внаслідок вузькопрофесійної точки зору;*
 - *змішування цілей, які необхідно досягнути, з засобами їх досягнення.*

Метою застосування системного аналізу до конкретної проблеми є підвищення степені обґрунтованості рішення, що приймається.

Для СА важливими є наступні методологічні принципи:

- *органічна єдність суб'єктивного та об'єктивного;*
- *структурність системи, що визначає цілісність та стійкість характеристик системи;*
- *динамізм системи;*
- *міждисциплінарний характер системних досліджень;*
- *органічна єдність формального та неформального при проведенні СА.*

На відміну від довільно широкої системної методології системний аналіз обмежують дві наступні

особливості:

1. Системні аналітики вивчають лише штучно створені системи, в яких людині належить надзвичайно важлива, а в багатьох випадках, і вирішальна роль;
2. Головна задача СА — прийняття рішень і управління.

Системний аналіз — це методологія дослідження таких властивостей та відношень в об'єктах, які важко спостерігаються та важко розуміються, за допомогою представлення цих об'єктів у вигляді цілеспрямованих систем та вивчення властивостей цих систем та взаємних відношень як відношень між цілями та засобами їх реалізації.

Системний аналіз відрізняється від інших методів дослідження тим, що:

- враховує принципову складність об'єкта, що досліджується;
- бере до уваги розгалужені та стійкі взаємні зв'язки його з оточенням;
- враховує неможливість спостереження ряду властивостей об'єкта та оточуючого середовища;
- реальні явища, їх властивості та зв'язки з оточенням переводяться далі в абстрактні категорії теорії систем;
- ґрунтуючись на відомих властивостях складних систем дозволяє виявити нові конкретні властивості та взаємні зв'язки конкретного об'єкта дослідження;
- на відміну від інших методів, в яких точно визначені об'єкти, включає як один з важливих етапів визначення об'єкта, його знаходження чи конструювання;
- орієнтується не на розв'язання “правильно сформульованих” задач, а на створення правильної постановки задачі (правильно поставити задачу — це означає на 50% її розв'язати), вибір відповідних методів для її розв'язання;
- основне в СА — знайти шлях, яким можна перетворити складну проблему в простішу, яким чином не лише складну до розв'язання, але й для розуміння, проблему перетворити в послідовність задач, для яких існують методи їх розв'язання;

- *СА завжди конкретний — завжди має справу з конкретною проблемою, конкретним об'єктом дослідження, є продуктивним тоді, коли застосовується до розв'язання завдань певного типу.*

Сила системного аналізу в тому, що він дозволяє розкласти складну проблему на компоненти аж до постановки конкретних задач, для яких існують методи розв'язання і, з іншого боку, зберігає цілісність цієї проблеми.

Людську діяльність умовно можна поділити на дві області:

- рутинна діяльність, розв'язання регулярних, щоденних завдань;

- розв'язання нових задач, які виникають вперше.

Окрім того, проблеми розрізняються за ступенем їх структурованості:

- добре структуровані та сформульовані кількісно;

- слабо структуровані, в яких зустрічаються як кількісні, так і якісні оцінки;

- неструктуровані, якісні проблеми.

Перший тип проблем не потребує СА, оскільки існує потужний апарат математичного моделювання та строгі кількісні методи розв'язання. Основною областю застосування методів СА є слабоструктуровані проблеми, а для розв'язання неструктурованих проблем в більшості застосовуються евристичні методи.

Потреба в СА виникає в тому випадку, коли виникають наступні ситуації:

- *розв'язується нова проблема, і за допомогою СА вона формулюється, визначається, що і про що потрібно дізнатися, і хто повинен знати;*

- *розв'язання проблеми передбачає координацію цілей з множиною засобів їх досягнення;*

- *проблема має розгалужені зв'язки, що викликають віддалені наслідки в різних галузях, і прийняття рішення в таких випадках потребує врахування сукупної ефективності та повних затрат;*

- існують варіанти розв'язання проблеми або досягнення взаємопов'язаного комплексу цілей, які важко порівняти;

- створюються нові складні системи;

- здійснюється вдосконалення, реконструювання виробництва, необхідна реінженерія бізнес-процесів;

- при створенні інформаційних систем та комп'ютеризованих систем керування;

- коли важливі рішення повинні прийматися за наявності невизначеності та ризику та (або) на достатньо віддалену перспективу.

Різноманітність задач, цілей дослідження, об'єктів дослідження природно приводить до існування різних методик СА, які базуються на єдиній методології. Це пояснюється тим, що існують певні об'єктивні закони людської діяльності, які виявляються при розв'язанні різних проблем. Ці закономірності, виявлені шляхом узагальнення досвіду та теоретичних досліджень, і становлять основу методології СА. Тому методики розв'язування системних задач, розроблені для різних конкретних випадків, подібні між собою.

Центральною ідеєю дослідження та побудови систем, на що по суті скеровані методи системного аналізу, є те, що система повинна бути достатньо надійною для досягнення певної мети, тобто система повинна бути в цьому сенсі стійкою. Дослідження систем реалізується з метою їх побудови, керування та модифікації, скерованої на досягнення певної мети (наприклад, людина являє систему, що діє з метою збереження власного життя).

Система функціонує для того, щоб реалізувати певне призначення, і при цьому на неї діють збурення, а також не всі проблеми, які можуть з'явитися в майбутньому, можуть бути враховані в процесі її проектування, а тому система повинна мати здатність корегувати свою поведінку та використовувати механізми зворотного зв'язку для забезпечення стійкості.

Отже, аналіз стійкості системи має першочергове

значення і включає наступні аспекти:

1. *Аналіз стійкості всіх компонентів системи.*
2. *Аналіз стійкості структури та потоку системи.*
3. *Аналіз стійкості цілей системи, які змінюються та є джерелом конфліктів.*
4. *Аналіз стійкості взаємних зв'язків з іншими системами.*
5. *Аналіз стійкості у взаємодії системи та зовнішнього середовища у випадках, коли внутрішні зміни не можуть стабілізувати систему.*

Результати аналізу стійкості формуються в термінах збурень, що розглядаються як неперервний феномен, однак, за певних умов можливе виникнення розривної поведінки, що виявляється у формі катастрофи як непередбачуваного розриву або раптової нестійкості в структурі та потоці.

З метою раціонального сприйняття системи необхідно враховувати наступні аспекти:

- *припустимими є нечіткі значення та конфліктне сприйняття призначень системи, система досліджується як процес, перебіг якого розглядається у взаємодії з зовнішнім середовищем;*
- *призначення системи визначаються як на ґрунті визначень розробників ("творців") системи, так і на визначеннях користувачів;*
- *описується система та її оточення (під оточенням розуміється та частина, що безпосередньо взаємодіє з системою);*
- *описуються елементи системи та взаємні зв'язки між ними;*
- *ідентифікуються потоки та функції системи і їх зміни;*
- *проблеми конкретизуються з врахуванням досвіду користувачів;*
- *досліджуються умови, які визначають рівновагу, що відповідає призначенню системи;*
- *розробляються засоби, що створюють стійкість стану рівноваги стосовно до змін в елементах та в системі, а також в глобальній взаємодії системи з зовнішнім середовищем;*

- *визначаються способи реалізації керування, що сприяють загальній стійкості (або нестійкості) системи.*

При аналізі систем у різних галузях знань використовують специфічні для кожної з них представлення. Інженери зазвичай досліджують системи мовою входів, виходів та функціональних перетворень входів у виходи, фахівці в галузях дослідження операцій та прикладній математиці ототожнюють систему з певною системою рівнянь, обмежень та формалізованою функцією якості, вчені-фізики орієнтовані більш структурно тобто на проведення експерименту та точні методи вимірювань.

Зовсім іншою є ситуація в системах, до яких залучені безпосередньо люди або в яких добробут людини, її твердження та переваги є складовою системи. У тому випадку, якщо існує проблема, необхідно взаємодіяти з особами, які залучені до побудови системи чи до оцінювання її функціонування. В інших випадках проблема полягає в тому, як визначити та модифікувати призначення системи, спроектувати систему, що прагне до бажаного стану та пристосовується до оточення, чи пристосовує оточення до себе, як врахувати різноманітні дії оточуючого середовища на систему. Ці аспекти є скоріше проблемами реконструювання, аніж “розв'язання проблем”.

В окремих випадках не вдається дослідити наслідки впровадження розв'язання проблеми в межах системи на функціонування інших складових системи. Якщо неможливо модифікувати систему таким чином, щоб вона виконала своє призначення і відповідала цілям, можливо або залишити проблему нерозв'язаною, або сконструювати нову з врахуванням змін в цілях, середовищі та поведінці старої системи.

Отже, для забезпечення успіху СА потрібно:

- *застосовувати його у тих випадках, для яких він призначений;*
- *наявність потреби, зрозумілої мети та (або)*

призначення;

- *відповідальне ставлення як аналітиків, так і організації-замовника;*
- *наявність накопиченої інформації, досвіду, ідей та уявлень про предмет дослідження;*
- *відображення в результатах СА реального стану справ та реальних шляхів розв'язання проблем, а не “обґрунтування” суб'єктивних рішень;*
- *наявність ресурсів — кваліфікованих експертів, обладнання, грошових засобів;*
- *аналіз можливого впливу сторонніх побічних факторів (прогноз наукових відкриттів, винаходів, політичної ситуації).*

1.3. Принципи системного підходу

Інтеграція наук в умовах постійно зростаючої їх диференціації – це діалектична єдність протилежностей - стає тенденцією часу. У цієї тенденції простежується два аспекти: перший – виникнення нових наук на стику існуючих; другий - розробка загального підходу до різноманітних об'єктів досліджень – системного підходу. Базисом розвитку системних ідей та системного підходу виявилися наступні три фактори [18]:

- сучасні наукові, фундаментальні та прикладні дослідження з підходом цілісності, організованості об'єктів дослідження (кібернетика, біологія, психологія, лінгвістика);
- сучасна складна техніка і програмне забезпечення, в якій системний підхід являє провідний принцип розробки складних об'єктів;
- організація виробництва та управління, коли до аналізу процесів втягуються економічні, екологічні, соціологічні, організаційні, психологічні, правові та етичні аспекти.

Принцип системного підходу полягає у розгляді елементів системи як взаємопов'язаних і взаємодіючих для досягнення глобальної мети функціонування системи. Особливістю системного підходу є оптимізація функціонування не окремих елементів, а всієї системи в цілому. Системний підхід може застосовуватися як на етапі аналізу логістичних систем, так і на етапі

синтезу даних систем.

Складну систему слід розглядати і як єдине ціле, і як таку, що складається з частин, потрібно досліджувати проблему з різних точок зору, вивчати її внутрішню будову та організацію та ін. Формулювання цих вимог до системи досягається шляхом визначення основних положень, або принципів системного підходу, які є досить загальними твердженнями, що узагальнюють досвід роботи людини зі складними системами. Такими принципами є наступні [9]:

1. **Принцип остаточної (глобальної) мети:** глобальна мета системи має абсолютний пріоритет.

2. **Принцип єдності:** сумісний розгляд системи і як цілого, і як сукупності компонентів (елементів, підсистем, системотворчих відношень).

3. **Принцип зв'язності:** довільна компонента системи розгляд-дається сумісно з її зв'язками з оточенням.

4. **Принцип модульності:** в багатьох випадках в системі доцільно реалізувати декомпозицію на складові (модулі) різного ступеня загальності та розглядати її як сукупність модулів та зв'язків між ними.

5. **Принцип ієрархії:** в більшості випадків в системі доцільно реалізувати ієрархічну побудову та (або) впорядкування (можливий півпорядок) її складових за важливістю.

6. **Принцип функціональності:** структура системи та її функції повинні розглядатися сумісно з пріоритетом функції над структурою.

7. **Принцип розвитку:** необхідно враховувати змінність системи, її здатність до розвитку, розширення, заміни складових, накопичення інформації.

8. **Принцип децентралізації:** в управлінні системою співвідношення між централізацією та децентралізацією визначається призначенням та метою системи.

9. **Принцип невизначеності:** невизначеності та випадковості повинні братися до уваги при визначенні стратегії та так-тики розвитку системи.

1.4. Методи системного аналізу

Метод - це шлях пізнання, що спирається на деяку сукупність раніше отриманих загальних знань (принципів).

Якщо системний метод являє собою загальний підхід до вирішення будь-якої складної проблеми об'єкта з урахуванням його цілісності, спосіб досягнення мети, певним образом упорядковану діяльність, то системним засобом називається сукупність принципів і понять.

Щоб полегшити вибір методів, необхідно розділити методи на групи, охарактеризувати особливості цих груп і дати рекомендації щодо їх використання при розробці моделей і методик системного аналізу.

Основними науковими інструментами системного аналізу є наступні методи [18]:

- *неформальні методи: метод сценаріїв, метод експертних оцінок ("Делфі"), діагностичні методи;*
- *графічні методи: метод дерев цілей, матричні*
- *методи, мережеві методи;*
- *кількісні методи, методи економічного аналізу морфологічні методи, статистичні методи;*
- *методи моделювання: кібернетичні моделі, описові моделі, нормативні операційні моделі (оптимізаційні, імітаційні, ігрові).*

Особливістю системного аналізу є поєднання якісних і формальних методів. Таке поєднання складає основу будь-якої використовуваної методики. Розглянемо основні методи, спрямовані на використання інтуїції і досвіду фахівців, а також методи формалізованого представлення систем.

Методи типу "мозкової атаки". Основна мета методів даного типу - пошук нових ідей, їх широке обговорення і конструктивна критика. Гіпотеза полягає в припущенні, що серед великої кількості ідей є, щонайменше, декілька хороших. При проведенні обговорень з досліджуваної проблеми застосовуються такі правила [6]:

1. Сформулювати проблему в основних термінах, виділивши центральний пункт.
2. Не оголошувати неправдивої і не припиняти дослід-

ження жодної ідеї.

3. Підтримувати ідею будь-якого роду, навіть якщо її доречність здається сумнівною.

4. Надавати підтримку і всіляке заохочення, щоб звільнити учасників обговорення від скутості.

При всій простоті дподібні обговорення дають хороші результати.

Метод сценаріїв є засобом первинного впорядкування проблеми в області обслуговування споживача, отримання і збору інформації про взаємозв'язки вирішуваної проблеми з іншими, про можливі і вірогідні напрями майбутнього розвитку.

Сценарій представляє собою переважно якісний опис можливих варіантів розвитку досліджуваного об'єкту при різних поєднаннях певних (заздалегідь виділених) умов. Сценарій в розгорнутій формі показує можливі варіанти розвитку подій для їх подальшого аналізу і вибору найбільш реальних і сприятливих варіантів.

Група експертів складає план сценарію, де описуються функціональні області, а також фактори зовнішнього середовища, що враховуються при постановці та вирішенні задач в області обслуговування споживачів. Різні розділи сценарію, зазвичай, описуються різними групами експертів, де розгортається ймовірний перебіг подій у часі. Залучення різних експертів дозволяє простежити його розгалуження, взаємозв'язку з іншими проблемами.

Сценарії можуть бути використані на різних етапах аналізу систем, коли потрібно зібрати і впорядкувати вельми різномірну інформацію. Але головною сферою застосування методу сценаріїв є етапи аналізу проблем в області обслуговування, а також прогнозу та аналізу майбутніх умов.

Методи експертних оцінок. Основою цих методів є різні форми експертного опитування з наступним оцінюванням і вибором найбільш кращого варіанту. Можливість використання експертних оцінок, обґрунтування їх об'єктивності ґрунтується на тому, що невідома характеристика досліджуваного об'єкта сприймається як випадкова величина, відображенням закону розподілу якої є індивідуальна оцінка експерта щодо досто-

вірності та значущості тієї чи іншої події. При цьому передбачається, що істинне значення досліджуваної характеристики знаходиться всередині діапазону оцінок, отриманих від групи експертів, і що узагальнене колективна думка є достовірною. Спірним моментом в даних методах є встановлення вагових коефіцієнтів з висловлюваною експертами оцінками і приведення суперечливих оцінок до деякої середньої величини.

Методи типу “Дельфі”.

Спочатку метод “Дельфі” був запропонований як одна з процедур при проведенні мозкової атаки і повинен був допомогти знизити ступінь впливу психо-логічних факторів і підвищити об'єктивність оцінок експертів. Потім метод став використовуватися самостійно. Його основа - зворотний зв'язок, ознайомлення експертів з результатами попереднього етапу і врахування цих результатів при оцінці значимості експертами.

Метод “Дельфі”, на відміну від методу сценаріїв, передбачає попереднє ознайомлення експертів з ситуацією із використанням будь-якої моделі.

Етапи методу Дельфі:

1. Здійснюється пошук експертів;
2. Кожному експерту пропонується одне і те ж питання;
3. Кожен експерт дає свої оцінки незалежно від інших експертів;
4. Відповіді збираються і статистично усереднюються;
5. Експертам, відповіді яких сильно відхиляються від середніх значень, пропонується обґрунтувати свої оцінки;
6. Експерти розробляють обґрунтування і виносять їх на розгляд;
7. Середнє значення і відповідні обґрунтування пред'являються всім експертам.

Методи типу “дерева цілей”. В аналізі систем основною формою моделі, що підлягає вдосконаленню і насиченню даними з допомогою експертних оцінок, є **дерево цілей**. Експертам пропонується оцінити структуру моделі системи в цілому і дати пропозиції про включення до неї неврахованих зв'язків. При цьому використовується *анкетний метод*. Результати кожного опитування знову доводяться до відома

всіх експертів, що дозволяє їм далі коригувати свої судження на основі знову отриманої інформації.

Термін “дерево” припускає використання ієрархічної структури, отриманої шляхом поділу загальної мети на під-цілі. Метод “дерева цілей” орієнтований на отримання відносно стійкої структури цілей проблем. Для досягнення цього при побудові початкового варіанта структури слід враховувати закономірності цілеутворення і використовувати принципи формування ієрархічних структур.

Дерево цілей представляє собою зв'язний граф, вершини якого інтерпретуються як цілі системи, а ребра або дуги – як зв'язки між ними. Це основний інструмент узгодження цілей верхнього рівня організаційної структури підприємства з конкретними засобами їх досягнення на нижньому, операційному рівні. У програмно-цільовому плануванні (коли цілі плану пов'язуються з ресурсами за допомогою програм) дерево цілей виступає як схема, що показує поділ загальних цілей плану на підцілі, останніх - на підцілі наступного рівня.

Представлення цілей починається з верхнього рівня організаційної структури, при цьому рух згори вниз характеризується, перш за все, *повнотою*: кожна мета верхнього рівня представляється у вигляді підцілей наступного рівня вичерпним чином, щоб об'єднання понять підцілей повністю визначало поняття вихідної мети.

Морфологічні методи. Терміном *морфологія* в біології і мовознавстві визначається вчення про внутрішню структуру досліджуваних систем (організмів, мов) або сама внутрішня структура цих систем. Ідея морфологічного способу мислення сходить до Аристотеля і Платона, до відомої середньовічної моделі Р. Луллія. Але в систематизованому вигляді методи морфологічного аналізу складних проблем були розроблені швейцарським астрономом (угорцем за походженням) Ф. Цвіккі, і довгий час морфологічний підхід до дослідження та проектування складних систем був відомий під назвою методу Цвіккі

Основна ідея морфологічного підходу - систематично знаходити найбільше число, а в найкращому випадку всі можливі

варіанти вирішення поставленої проблеми або реалізації системи шляхом комбінування основних (виділених дослідником) структурних елементів системи або їх ознак. При цьому система чи проблема може розбиватися на частини різними способами і розглядатися в різних аспектах.

Відправними точками системного дослідження в морфологічних методах вважають:

1. Рівний інтерес до всіх об'єктів морфологічного моделювання;
2. Ліквідацію всіх оцінок і обмежень до тих пір, поки не буде отримана повна структура досліджуваної області;
3. Максимально точне формулювання поставленої проблеми.

Відомі три основні схеми метода [6]:

1. *Метод систематичного покриття поля* (МСПП) припускає, що існує деяке число «опорних пунктів» знання в будь-якій досліджуваній області. Цими пунктами можуть бути теоретичні положення, емпіричні факти, відомі на даний момент компоненти складної системи, відкриті закони, відповідно до яких протікають різні процеси і т. д. Виходячи з обмеженого числа опорних пунктів знання і достатнього числа принципів мислення (у тому числі різних мір близькості), за допомогою МСПП шукають можливі варіанти вирішення поставленої проблеми.

2. *Метод заперечення і конструювання*, ґрунтується на міркуваннях, які Ф. Цвіккі сформулював так: “На шляху конструктивного прогресу лежать догми і компроміси або диктаторські обмеження. Отже, є сенс їх заперечувати. Проте одного цього недостатньо. Те, що виходить із заперечення, необхідно конструктивно переробити”. Відповідно до цього МЗП реалізується за допомогою трьох етапів: 1) формування ряду висловлювань (положень, тверджень, аксіом і т.д.), відповідних сучасному рівню розвитку досліджуваної області знань; 2) заміна одного, кількох або всіх сформульованих висловлювань на протилежні; 3) побудова різних наслідків, що випливають з такого заперечення і перевірка несуперечності знову отриманих і тих, що залишилися незмінними

висловлювань.

3. *Метод морфологічної скрині*, заснований на формуванні та аналізі морфологічної таблиці - *морфологічної скрині* (МС). Побудова і дослідження морфологічної скрині по Цвіккі проводиться в п'ять етапів:

- 1) формулювання поставленої проблеми;
- 2) визначення параметрів (класифікаційних ознак) P_n , від яких залежить вирішення проблеми (процедура аналізу може бути ітеративною зі зміною набору P_n у міру уточнення уявлень про досліджуваний об'єкт або процес прийняття рішень);
- 3) розподіл параметрів P_n на їх значення p_n^{ki} (формування класифікаторів за обраними ознаками P_n) і надання їх у вигляді матриць-рядків:

$$\begin{bmatrix} p_1^1 & p_1^2 & \dots & p_1^{k1} \\ p_2^1 & p_2^2 & \dots & p_2^{k2} \\ p_n^1 & p_n^2 & \dots & p_n^{km} \end{bmatrix}$$

набір значень (по одному з кожного рядка) різних параметрів являє собою можливий варіант вирішення модульованого завдання: наприклад, варіант $\langle p_1^1, p_2^2, \dots, p_n^2 \rangle$ загальне число варіантів, які містяться в МС, $R = k_1 \times k_2 \times \dots \times k_i \times \dots \times k_m$, де $k_i (i = 1, 2, \dots, m)$ - число значень i -го параметра;

- 4) оцінка всіх наявних в МС варіантів;
- 5) вибір найкращого варіанта рішення задачі.

Слід зазначити, що, строго кажучи, мова про оптимізацію йти не може. Ідею пошуку найкращого варіанта (варіантів) рішення краще кваліфікувати як поступово обмежуваний перебір, який з самого початку скорочується завдяки формуванню МС (число розміщень з повтореннями менше числа сполучень, і в міру збільшення обсягів МС розрив збільшується і обмеження перебору позначається більшою степінню), потім область вибору рішення обмежується внаслідок виключення явно неприйнятних варіантів, а подальше обмеження області можливих рішень можна організувати шляхом введення та

обліку кількісних, а потім (за інших рівних умов) і якісних критеріїв.

Матричні форми представлення і аналізу даних не є специфічним інструментом аналізу систем. Проте вони широко застосовуються на різних етапах аналізу системи в якості допоміжного засібу.

Матриця - це наочна форма представлення даних; форма, яка розкриває внутрішні зв'язки між елементами, що допомагає з'ясувати і проаналізувати частини структури, які, зазвичай, важко або неможливо спостерігати. Прикладом використання властивостей матриці є періодична система Д.І. Менделєєва.

Одна з найбільш повних класифікацій, що базується на формалізованому поданні систем, тобто на математичній основі, включає наступні методи [6]:

- **аналітичні** (методи класичної математики, математичного програмування);
- **статистичні** (математична статистика, теорія ймовірностей, теорія масового обслуговування);
- **теоретико-множинні, логічні, лінгвістичні, семіотичні;**
- **графічні** (теорія графів).

Програмно-цільовий метод – розробка і виконання перспективних завдань, спрямованих на досягнення певної мети незалежно від відомчих рамок. Він полягає в послідовній реалізації комплексу технічних, організаційних та економічних заходів: від встановлення конкретних цілей (наприклад, підвищення якості обслуговування) до обґрунтування і виконання намічених заходів у заплановані терміни. Програмно-цільовий підхід дозволяє об'єднати зусилля учасників мережі поставок, направити їх зусилля на досягнення конкретних цілей, зв'язати з відповідними ресурсами, врахувати найважливіші взаємозв'язки, які за звичайних підходів нерідко губляться або враховуються не повністю.

Програма - це комплекс заходів, намічений до планомірної реалізації, спрямований на досягнення єдиної мети, приурочений до визначених термінів і забезпечений необхідними ресурсами.

Принцип “ковзного” планування та фінансування полягає в

тому, що в рамках довготривалої програми, розрахованої на досягнення тієї чи іншої кінцевої мети, встановлюються середньострокові плани, які щороку зрушуються на рік.

Метод аналізу систем застосовується для оцінки альтернативних курсів дій при розподілі ресурсів у відповідності з цілями систем. За наявності встановлених цілей для вирішення певних завдань пропонуються різноманітні програми. Аналіз систем включає процес визначення цілей і оцінку альтернативних планів. Ставляться завдання можливості технічної реалізації пропозиції та розробки засобів досягнення поставленої мети.

У міру збільшення числа альтернатив, які можна технічно реалізувати, процес аналізу систем буде включати вибір відповідного обслуговування або поєднання різних рівнів обслуговування в залежності від того, характеристики якого з них краще відповідають певним вимогам споживачів. При цьому враховуються як кількісні, так і якісні параметри оцінки якості функціонування систем. В умовах недостатності ресурсів необхідні витрати набувають важливого значення. Аналіз систем включає пошуки компромісу між вартістю та ефективністю.

В якій точці обмеження подальшого збільшення витрат стають необхідними, незважаючи на можливе збільшення ефективності обслуговування? При відповіді на це питання слід збалансувати зазначені фактори, використовуючи підхід до вибору цілей і розподілу ресурсів, - *планування, програмування та складання бюджету*.

Планування-програмування-складання бюджету вимагають для кожної системи обслуговування визначення його призначення та всіх необхідних витрат, починаючи від постановки завдання і закінчуючи доставкою. Кожна підсистема має своє місце в загальній системі обслуговування і повинна оцінюватися в залежності від внеску цієї системи і необхідних для неї витрат.

Дослідження операцій є застосування різних наукових методів, засобів та інструментів до проблем, що виникають при виконанні операцій системою, щоб забезпечити оптимальне вирішення цих проблем при управлінні системою. Етапи дослідження операцій:

- формулювання проблеми;
- побудова математичної моделі досліджуваної системи;
- знаходження рішення за допомогою моделі; перевірка моделі і рішення, отриманого з її допомогою;
- організація управління відповідно з повчаннями рішенням;
- реалізація рішення.

Метод входів і виходів. Загальна процедура методу така:

- перерахувати всі входи і виходи в окремих списках;
- описати повністю кожен перерахований член;
- безліч входів зв'язується з безліччю виходів, завдяки перетворює агентам або передавальним функціям.

Граничні умови:

- тип ситуації: чи потребує вона нової фізичної системи або нового або модифікованого методу проектування систем;
- напрямок проектування, що впливає з потреби зниження вартості, підвищення рівня обслуговування;
- очікуваний вплив формованої системи на інші області або на бізнес (“ефект переливання”);
- сучасні знання щодо сукупного оточення і, зокрема, наявна технологія;
- точка зору всіх груп споживачів щодо бажаних властивостей системи, вартості;
- знання і досвід розробників системи;
- вид потреби, ізолювана система або взаємодіє з іншими потребами;
- частота потреби: чи можна задовольнити споживача раз і назавжди, або його потреба виникає періодично;
- гострота потреби і обмеження часу для прийняття рішення;
- фізичні межі або допуски на габарити, вагу, швидкість, пропускну здатність.

1.5. Структура системного аналізу

Загальний підхід до вирішення проблем може бути представлений як цикл (рис. 1.1). При цьому в процесі функціонування реальної системи виявляється проблема практики як невідпо-

відність існуючого стану справ необхідному. Для вирішення проблеми проводиться системне дослідження (декомпозиція, аналіз і синтез) системи, що знімає проблему.

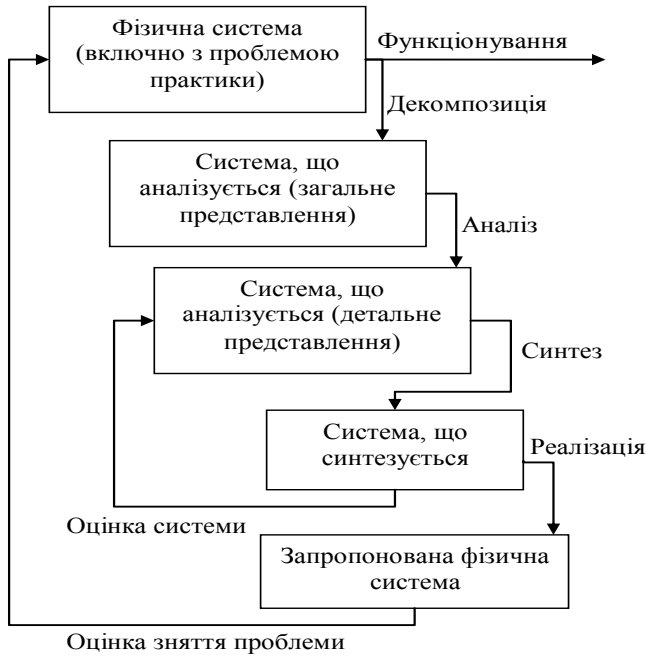


Рис. 1.1. Загальний підхід до розв'язку проблем

У ході синтезу здійснюється оцінка аналізованої системи і системи, що синтезується. Реалізація синтезованої системи у вигляді запропонованої фізичної системи дозволяє провести оцінку ступеня зняття проблеми практики і прийняти рішення на функціонування модернізованої (нової) реальної системи.

При такому поданні стає очевидним ще один аспект визначення системи: система є засобом вирішення проблем.

Основні завдання системного аналізу можуть бути представлені у вигляді трирівневого дерева функцій (рис. 1.2).

На етапі декомпозиції, що забезпечує загальне уявлення системи, здійснюються:

1. Визначення та декомпозиція загальної мети дослідження та основної функції системи як обмеження траєкторії в просторі станів системи або в області допустимих ситуацій. Найбільш часто декомпозиція проводиться шляхом побудови дерева цілей і дерева функцій.

2. Виділення системи з середовища (поділ на систему / “несистему”) за критерієм участі кожного елемента, що розглядається в процесі, і приводить до результату на основі розгляду системи як складової частини надсистеми.

3. Опис чинників, що впливають.

4. Опис тенденцій розвитку, невизначеностей різного роду.

5. Опис системи як “чорної скрині”.

6. Функціональна (за функцією), компонентна (за видом елементів) і структурна (по виду відносин між елементами) декомпозиції системи.

Глибина декомпозиції обмежується. Декомпозиція повинна припинятися, якщо потрібно змінити рівень абстракції – представити елемент як підсистему. Якщо при декомпозиції з'ясується, що модель починає описувати внутрішній алгоритм функціонування елемент замість закону його функціонування у вигляді “чорної скрині”, то в цьому випадку відбулася зміна рівня абстракції. Це означає вихід за межі цілі дослідження системи і, отже, викликає припинення декомпозиції.

В автоматизованих методиках типовою є декомпозиція моделі на глибину 5-6 рівнів. На таку глибину декомпозується, зазвичай, одна з підсистем. Функції, які вимагають такого рівня деталізації, часто дуже важливі, і їх детальний опис дає ключ до секретів роботи всієї системи.

У загальній теорії систем доведено, що більшість систем можуть бути декомпозовані на базові представлення підсистем. До них відносять: послідовне (каскадне) з'єднання елементів, паралельне з'єднання елементів, з'єднання за допомогою зворотного зв'язку.

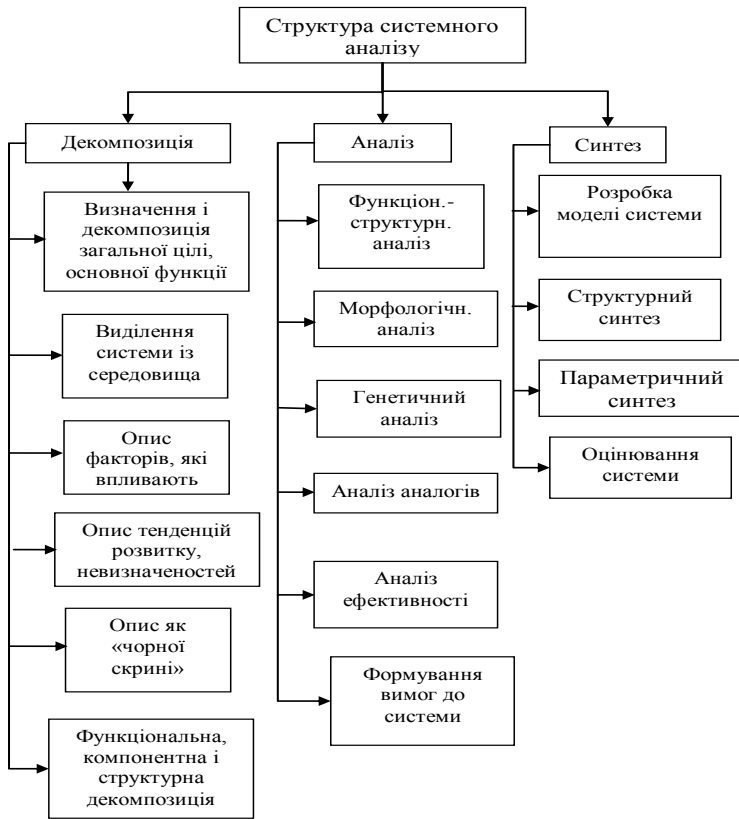


Рис. 1.2. Структура системного аналізу

Проблема проведення декомпозиції полягає в тому, що в складних системах відсутня однозначна відповідність між законом функціонування підсистем і алгоритмом його реалізації. Тому здійснюється формування декількох варіантів (або одного варіанту, якщо система відображена у вигляді ієрархічної структури) декомпозиції системи.

Розглянемо деякі найбільш часто вживані стратегії декомпозиції.

Функціональна декомпозиція. Декомпозиція базується на аналізі функцій системи. При цьому ставиться питання що

робить система, незалежно від того, як вона працює. Підставою розбиття на функціональні підсистеми служить спільність функцій, що виконуються групами елементів.

Декомпозиція за життєвим циклом. Ознака виділення підсистем - зміна закону функціонування підсистем на різних етапах циклу існування системи "від народження до загибелі". Рекомендується застосовувати цю стратегію, коли метою системи є оптимізація процесів і коли можна визначити послідовні стадії перетворення входів у виходи.

Декомпозиція за фізичним процесом. Ознака виділення підсистем - кроки виконання алгоритму функціонування підсистеми, стадії зміни станів. Хоча ця стратегія корисна при описі існуючих процесів, результатом її часто може стати занадто послідовний опис системи, яке не буде повною мірою враховувати обмеження, які диктують функції одна одній. При цьому може виявитися прихованою послідовність управління.

Декомпозиція за підсистемами (структурна декомпозиція). Ознака виділення підсистем - сильний зв'язок між елементами по одному з типів відносин (зв'язків), які існують в системі (інформаційних, логічних, ієрархічних, енергетичних тощо). Силу зв'язку, наприклад, за інформацією можна оцінити коефіцієнтом інформаційного взаємозв'язку підсистем:

$$k = N / N_0 ,$$

де N - кількість взаємовикористовуваних інформаційних масивів у підсистемах, N_0 - загальна кількість інформаційних масивів. Для опису всієї системи повинна бути побудована складова модель, яка об'єднує всі окремі моделі. Рекомендується використовувати розкладання на підсистеми, тільки коли такий поділ на основні частини системи не змінюється. Нестабільність меж підсистем швидко знецінить як окремі моделі, так і їх об'єднання.

На етапі аналізу, що забезпечує формування детального представлення системи, здійснюються:

1. Функціонально-структурний аналіз існуючої системи, що

дозволяє сформулювати вимоги до створюваної системи. Він включає уточнення складу і законів функціонування елементів, алгоритмів функціонування та взаємовпливу підсистем, поділ керованих і некерованих характеристик, завдання простору станів Z , завдання параметричного простору T , в якому задано поведінку системи, аналіз цілісності системи, формулювання вимог до створюваної системи.

2. Морфологічний аналіз - аналіз взаємозв'язку компонентів.

3. Генетичний аналіз - аналіз передісторії, причин розвитку ситуації, наявних тенденцій, побудова прогнозів.

4. Аналіз аналогів.

5. Аналіз ефективності (за результативністю, ресурсоемності, оперативності). Він включає вибір шкали вимірювання, формування показників ефективності, обґрунтування та формування критеріїв ефективності, безпосередньо оцінювання та аналіз отриманих оцінок.

6. Формування вимог до створюваної системи, включаючи вибір критеріїв оцінки і обмежень.

Етап синтезу системи, що вирішує проблему, представлений у вигляді спрощеної функціональної діаграми на рис. 1.3. На цьому етапі здійснюються:

1. Розробка моделі необхідної системи (вибір математичного апарату, моделювання, оцінка моделі за критеріями адекватності, простоти, відповідності між точністю і складністю, балансу похибок, багатоваріантності реалізацій, блочності побудови).

2. Синтез альтернативних структур системи, що знімає проблему.

3. Синтез параметрів системи, що знімає проблему.

4. Оцінювання варіантів синтезованої системи (обґрунтування схеми оцінювання, реалізація моделі, проведення експерименту за оцінкою, обробка результатів оцінювання, аналіз результатів, вибір найкращого варіанту).

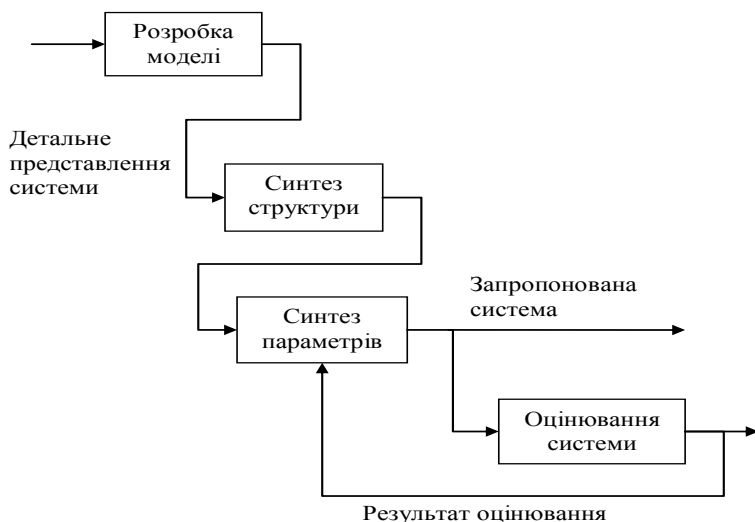


Рис. 1.3. Спрощена функціональна діаграма етапу синтезу системи, яка розв'язує проблему

Оцінка ступеня зняття проблеми проводиться при завершенні системного аналізу. Найбільш складними у виконанні є етапи декомпозиції та аналізу. Це пов'язано з високим ступенем невизначеності, яку потрібно подолати в ході дослідження.

Розглянемо процес формування загального та детального представлення системи, що включає дев'ять основних стадій.

Формування загального представлення системи.

Стадія 1. Виявлення головних функцій (властивостей, цілей, призначення) системи. Формування (вибір) основних предметних понять, що використовуються в системі. На цій стадії мова йде про з'ясування основних виходів в системі. Саме з цього краще всього починати її дослідження. Повинен бути визначений тип виходу: матеріальний, енергетичний, інформаційний, вони повинні бути віднесені до будь-яким фізичних або інших понять (вихід виробництва - продукція (яка?), вихід системи управління - командна інформація (для чого? в якому вигляді?), вихід автоматизованої інформаційної системи - відомості (про що? тощо).

Стадія 2. Виявлення основних функцій і частин (модулів) у системі. Розуміння єдності цих частин у рамках системи. На цій стадії відбувається перше знайомство з внутрішнім змістом системи, з'ясовується, з яких великих частин вона складається і яку роль кожна частина відіграє в системі. Такі відомості варто представляти і вивчати за допомогою структурних або об'єктно-орієнтованих методів аналізу систем, де, наприклад, з'ясовується наявність переважного послідовного або паралельного характеру з'єднання частин, взаємної або переважно односторонньої спрямованості впливів між частинами тощо.

Стадія 3. Виявлення основних процесів у системі, їх ролі, умов здійснення, виявлення стадійності, стрибків, змін станів у функціонуванні; в системах з керуванням - виділення основних керуючих факторів. Тут досліджується динаміка найважливіших змін у системі, хід подій, вводяться параметри стану, розглядаються фактори, що впливають на ці параметри, та забезпечують перебіг процесів, а також умови початку і кінця процесів. Визначається, керовані чи процеси, та чи сприяють вони здійсненню системою своїх головних функцій. Для керованих систем окреслюються основні керуючі впливи, їх тип, джерело і ступінь впливу на систему.

Стадія 4. Виявлення основних елементів “несистеми”, з якими пов'язана система, що вивчається. Виявлення характеру цих зв'язків. На цій стадії вирішується ряд окремих проблем. Досліджуються основні зовнішні впливи на систему (входи). Визначаються їх тип (речові, енергетичні, інформаційні), ступінь впливу на систему, основні характеристики. Фіксуються межі того, що вважається системою, визначаються елементи “несистеми”, на які спрямовані основні вихідні дії. Тут же корисно простежити еволюцію системи, шлях її формування. Нерідко саме це веде до розуміння структури та особливостей функціонування системи. У цілому дана стадія дозволяє краще усвідомити головні функції системи, її залежність і вразливість або відносну незалежність у зовнішньому середовищі.

Стадія 5. Виявлення невизначеностей і випадковостей у ситуації їх визначального впливу на систему (для стохастичних систем).

Стадія 6. Виявлення розгалуженої структури, ієрархії, формування уявлень про систему як про сукупність модулів, пов'язаних входами-виходами.

Стадією **6** закінчується формування загальних представлень про систему. Як правило, цього достатньо, якщо мова йде про об'єкт, з яким ми безпосередньо працювати не будемо. Якщо ж мова йде про систему, якою треба займатися для її глибокого вивчення, поліпшення, управління, то нам доведеться піти далі: спіралеподібним шляхом поглибленого дослідження системи.

Формування детального представлення системи.

Стадія 7. Виявлення всіх елементів та зв'язків, важливих для цілей розгляду. Їх віднесення до структури ієрархії в системі. Ранжування елементів і зв'язків за їх значимістю.

Стадії **6** і **7** тісно пов'язані один з одним, тому їх обговорення корисно провести разом. Стадія **6** - це межа пізнання “всередину” досить складної системи для особи, що оперує нею цілком. Більш поглиблені знання про систему (стадія **7**) буде мати вже тільки фахівець, що відповідає за її окремі частини. Для не надто складного об'єкта рівень стадії **7** - знання системи загалом - досяжний і для однієї людини. Таким чином, хоча суть стадій **6** і **7** одна і та ж, але в першій з них ми обмежуємося тим розумним обсягом відомостей, що доступний одному досліднику.

При поглибленій деталізації важливо виділяти саме суттєві для розгляду елементи (модулі) та зв'язки, відкинувши все те, що не має інтересу для цілей дослідження. Пізнання системи передбачає не завжди тільки відділення суттєвого від несуттєвого, але також акцентування уваги на більш істотному. Деталізація повинна зачепити і вже розглянутий в стадії **4** зв'язок системи з “несистемою”. На стадії **7** сукупність зовнішніх зв'язків вважається зрозумілою настільки, що можна говорити про доскональне знання системи.

Стадії **6** і **7** підводять підсумок загального, цілісного вивчення системи. Подальші стадії вже розглядають тільки її окремі сторони. Тому важливо ще раз звернути увагу на системоутворюючі фактори, на роль кожного елементу і кожному зв'язку, на розумінні, чому вони саме такі або повинні бути саме

такими в аспекті єдності системи.

Стадія 8. Облік змін та невизначеностей у системі. Тут досліджуються повільне, звичайно небажане зміна властивостей системи, яке прийнято називати “старінням”, а також можливість заміни окремих частин (модулів) на нові, що дозволяють не тільки протистояти старінню, а й підвищити якість системи в порівнянні з початковим станом. Таке вдосконалення штучної системи прийнято називати розвитком. До нього також відносять поліпшення характеристик модулів, підключення нових модулів, накопичення інформації для кращого її використання, а іноді й перебудову структури, ієрархії зв'язків.

Основні невизначеності в стохастичній системі вважаються дослідженими на стадії 5. Однак недетермінованість завжди присутній і в системі, не призначеній для роботи в умовах випадкового характеру входів і зв'язків. Додамо, що облік невизначеностей в цьому випадку зазвичай перетворюється на дослідження чутливості найважливіших властивостей (виходів) системи.

Стадія 9. Дослідження функцій і процесів у системі з метою управління ними. Введення управління та процедур прийняття рішення. Керуючі впливи як системи управління. Для цілеспрямованих та інших систем з управлінням дана стадія має велике значення. Основні керуючі фактори були з'ясовані при розгляді стадії 3, але там це носило характер загальної інформації про систему. Для ефективного введення управлінь або вивчення їх впливів на функції системи і процеси в ній, необхідно глибоке знання системи. Саме тому ми говоримо про аналіз управлінь тільки зараз, після всебічного розгляду системи. Нагадаємо, що управління може бути надзвичайно різноманітним за змістом - від команд спеціалізованої керуючої ЕОМ до міністерських наказів.

Однак можливість однакового розгляду всіх цілеспрямованих втручань в поведінку системи дозволяє говорити вже не про окремі управлінські акти, а про систему управління, яка тісно переплітається з основною системою, але чітко виділяється у функціональному відношенні.

На даній стадії з'ясовується, де, коли і як (у яких точках

системи, в які моменти, в яких процесах, стрибках, виборах із сукупності, логічних переходах тощо) система управління впливає на основну систему, наскільки це ефективно, сприйнятно і зручно реалізується. При введенні управлінь в системі повинні бути досліджені варіанти переводу входів і постійних параметрів в керовані, визначені допустимі межі управління і способи їх реалізації.

Після завершення стадій **6-9** дослідження систем триває на якісно новому рівні - далі специфічна стадія моделювання. Про створення моделі можна говорити тільки після повного вивчення системи.

1.6. Роль системного аналітика при розв'язанні складних задач

Розглянемо роль системного аналітика у практичній діяльності людини. Взаємодія “об’єкт-людина-середовище” має ряд певних особливостей[8]:

- *по-перше*, визначальною особливістю задачі є неповнота, невизначеність, неточність, нечіткість і суперечливість вихідної інформації. Справді, під час розробки, експлуатації або дослідження об’єкта не вдається повною мірою враховувати властивості і вплив середовища. Але зовнішнє оточення об’єкта зазвичай не має чітких меж, оскільки будь-який об’єкт у практичній діяльності людини має різноманітні зв’язки із зовнішнім світом — енергетичні, матеріальні, інформаційні, природні тощо. Більше того, не існує в принципі системи універсальних сталих, які дали б змогу чітко й однозначно кількісно характеризувати всі можливі зв’язки та взаємодії. Приміром, не можна кількісно однозначно визначити уніфіковані природні умови експлуатації техніки, зокрема, для транспортних наземних засобів. Так, умови Крайньої Півночі принципово відрізняються від умов пустель і напівпустель, а ті, у свою чергу, різко відрізняються від умов джунглів. Крім того, навіть у межах однієї кліматичної зони різні групи факторів за багатьма характеристиками є протилежними, висувають протилежні вимоги до об’єкта (спорудження, технології, транспортного засобу тощо).

- *по-друге*, особливістю системної задачі у структурі взає-

модії “об’єкт-людина-середовище”, є невизначеність і неоднозначність цілей. У задачі взаємодії неможливо кількісно однозначно охарактеризувати цілі розробки або дослідження певного об’єкта. Справа в тому, що будь-який об’єкт повинен задовольняти одночасно багатьом цілям, які зазвичай є суперечливими або протилежними. Приміром, суперечливими є цілі досягнення високої міцності конструкції й малої ваги, високої надійності та низької вартості тощо. До того ж цілі розробки повинні враховувати багато латентних факторів, що можуть мати принципове значення у разі наявності альтернативних розв’язків. Це можуть бути естетичні, ергономічні, етнічні та деякі інші фактори, зокрема певні звички та навички потенційного користувача тощо. Звідси випливає необхідність у пошуку раціонального компромісу як між різними групами факторів взаємодії “об’єкт-людина-середовище”, так і всередині кожної групи. Зокрема, під час визначення меж об’єкта, розробки загального формулювання задачі дослідження необхідно забезпечити раціональний компроміс між визначальними узагальненими протилежними критеріями — максимізацією якості розв’язку і мінімізацією складності процедури розв’язування.

Таким чином, розв’язання багатьох задач у процесі практичної діяльності людини потребує пошуку раціонального компромісу. А така процедура є досить суб’єктивною, оскільки критерії порівняння і переваги альтернативних варіантів вибираються особою, що приймає рішення (ОПР). Звідси випливає висновок, що за тих самих вихідних даних різні ОПР можуть одержувати розв’язки, що суттєво різняться між собою практично за більшістю показників. У житті є чимало переконливих прикладів, які практично підтверджують цю тезу. Зокрема, переконливим доказом є велика різноманітність однотипної продукції навіть за умов жорстких обмежень національних та міжнародних стандартів.

Цілком природно, що за умови різноманітності виробів однакового призначення постає необхідність оцінити та порівняти якість деяких альтернативних варіантів однотипних виробів. Така задача ставиться багатьма категоріями осіб. Вона насамперед має важливе значення для споживача. Але не менш

важливе значення обґрунтоване та достовірне розв'язання цієї задачі має для виробника відповідної продукції, якщо він прагне забезпечити її конкурентоспроможність на ринку. Більше того, для розробника і виробника продукції важливість і складність розв'язання цієї задачі суттєво вищі, ніж для споживача. Справді, виробник повинен розглядати всі аспекти якості продукції не лише з позиції власних уподобань і можливостей, але й з урахуванням дій конкурентів на ринку, а також динаміки росту запитів покупців.

Отже, під час практичної діяльності з'являється потреба в аналізі взаємодії “об’єкт-людина-середовище” з найбільш загальної позиції. Такий аналіз, по суті, є дослідженням якості та ефективності прийнятої методології й стратегії дій людини в зазначеній системі. Таку задачу повинен розв’язувати системний аналітик. Таким чином, отримуємо нову систему “системний аналітик-об’єкт-людина-середовище”, яка зображена на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Взаємодія системного аналітика і системи “об’єкт-людина-середовище”

У цій схемі дослідження слід виконувати шляхом зіставлення, порівняльної оцінки результату, одержаного в розглянутій системі, з аналогічними результатами конкурентів, а також із загальними тенденціями і перспективами розвитку виробництва, ринку збуту і запитів споживачів.

Виникає запитання: чому цю задачу не може розв’язати інша

людина (розробник, користувач, дослідник чи інша особа), чому необхідно аналізувати такі взаємодії з іншої позиції — позиції системного аналітика? Справді, будь-який досвідчений розробник або виробник виконує аналіз запитів споживача, прогнозує та оцінює дії конкурентів, оцінює ринок збуту та попиту, розробляє відповідну стратегію дій з урахуванням багатьох факторів, власних цілей і можливостей. Існує практична необхідність у проведенні системного аналізу взаємодії, який зумовлюють багато факторів. Відзначимо найсуттєвіші.

Будь-який розробник чи виробник під час розв'язання задачі формує власну систему критеріїв, показників і припущень. Подібна система критеріїв, зазвичай, є суб'єктивною, а отже, суб'єктивною є і відповідна оцінка. Внаслідок такого підходу розробник чи виробник, що спеціалізується на певному класі продукції, часто переоцінює її позитивні властивості, можливості та перспективи, і недооцінює її недоліки, а також можливості та перспективи конкурентного класу продукції. Доказом цього є приклади банкрутства, збитковості, які практично щорічно спостерігаються в масовій кількості у країнах із ринковою економікою.

Оцінити якість прийнятої методології і стратегії одержання розв'язку, його вірогідність і обґрунтованість без участі системного аналітика практично неможливо. Такий висновок впливає безпосередньо із математично обґрунтованого принципу додатковості К Геделя, згідно з яким для оцінки якості та ефективності прийнятої стратегії й методів розв'язання з використанням певної системи критеріїв необхідно перейти до більш потужної системи критеріїв, яка доповнює вихідну систему новими властивостями і відкриває можливість для використання додаткового апарату оцінки. Саме така можливість з'являється внаслідок системного аналізу задачі. Звідси впливає, що розв'язання подібних задач із методологічної точки зору принципово відрізняється від розв'язання, наприклад, традиційних фізичних задач.

Отже, системність практичної діяльності людини зумовлює необхідність системного аналізу на різних рівнях дослідження взаємодії елементів як усередині системи “об’єкт-людина-середовище”, так і на більш високому рівні: “системний

аналітик-об'єкт-людина-середовище". Складність таких задач набагато вища за складність задач з аксіоматичних дисциплін, оскільки у вихідній постановці вони є неформалізованими. Формалізація є однією з найскладніших процедур під час постановки та розв'язання системних задач будь-якого типу. Проте на практиці формалізації підлягають лише окремі складові більш складних задач. Зокрема, однією з найважливіших складових є визначення і формулювання цілей у вигляді цільових функцій (див.розділ 4). Задачу їхнього формування можна зобразити такою послідовністю взаємозалежних задач:

- зведення вихідної вербальної, числової, емпіричної та інших видів інформації до деякого стандартного вигляду, що дає можливість сформулювати цілі дослідження;
- вибір класу і структури наближувальних функцій під час формування цілей;
- вибір критеріїв, принципів, підходів та методів побудови цільових функцій;
- відшукання цільових функцій у прийнятому класі функцій, які забезпечують формалізацію вербально сформульованих цілей із допустимою на практиці похибкою.

Від обґрунтованості і вірогідності результатів виконання цієї початкової процедури під час розв'язання практичних системних задач може залежати кінцевий результат розробки нового складного технічного виробу або результат аналізу складної проблемної ситуації. У той же час від кінцевого результату може залежати діяльність великих колективів виконавців, наукових організацій і промислових підприємств, що характерно для розробки складних технічних систем, наприклад, космічних апаратів, електростанцій тощо. Аналогічні властивості притаманні багатьом локальним задачам, що виникають після декомпозиції загальної задачі системного аналізу. Очевидно, що розв'язання цих задач потребує системного мислення і системних досліджень.

Розділ 2. СИСТЕМИ

2.1. Визначення системи

В системному аналізі поняття “система” є одним із фундаментальних понять, тому його визначають через ознаки систем та їх властивості. Наведемо декілька визначень системи.

Система – це засіб досягнення мети.

Це визначення базується на тому, що будь-яка діяльність людини має цілеспрямований характер. Відповідність мети і системи неоднозначна, а саме: різні системи можуть орієнтуватись на одну мету, а одна система може мати різні цілі.

Система – це сукупність взаємозв’язаних елементів, уособлена від зовнішнього середовища, але яка діє з цим середовищем як єдине ціле.

Перші два визначення об’єднуються в наступне[18]:

Система – це функціонально визначена структурно впорядкована з адаптивною реорганізацією множина елементів. Зовнішні та внутрішні функції систем, їх ієрархічні або однорівневі структури характеризуються відповідними обмінними потоками, адаптивна організація та дезорганізація систем є визначальною для їх існування властивістю.

Аналогічне за змістом наступне визначення системи[18]:

Система – це впорядкована множина структурно взаємозв’язаних та функціонально взаємодіючих однотипних елементів будь-якої природи, об’єднаних в цілісний об’єкт, склад та межі якого визначаються цілями системного дослідження.

Поняття “**підсистема**” означає, що дослідник виділяє відносно незалежну частину системи, яка має якості системи, і має *підціль*, на досягнення якої орієнтована підсистема, а також інші якості – цілісність, комунікативність тощо.

Якщо ж частини системи не мають таких якостей, а представляють собою просто сукупність однорідних елементів, то такі частини називають *компонентами*. Результат процедури виділення підсистем залежить від мети і може змінюватись по мірі її уточнення і розвитку уявлень дослідника про об’єкт, який аналізується, або про проблемну ситуацію.

Елемент – це найпростіша неподільна частина системи, а її

властивості визначаються конкретною задачею.

Елемент завжди зв'язаний із самою системою. Елемент складної системи може бути, в свою чергу, складною системою в іншій задачі.

Зв'язок визначають як обмеження степені свободи елементів. Дійсно, елементи, які вступають в зв'язок один з одним, втрачають частину своїх якостей, якими вони потенційно володіли у вільному стані. Поняття *зв'язок* входить, зазвичай, у будь-яке визначення системи і забезпечує виникнення і зберігання її цілісних якостей.

Зв'язки можна характеризувати за *напрямком* (спрямовані і не спрямовані), за силою (сильні, слабкі), за характером (підпорядкування, генетичні, рівноправні, керування).

Важливу роль в моделюванні систем грає *зворотній зв'язок* (рис. 2.1). Зворотній зв'язок може бути:

- *від'ємним*, коли він протидіє тенденціям зміни вихідного параметру, тобто спрямований на збереження чи стабілізацію необхідного значення параметру;

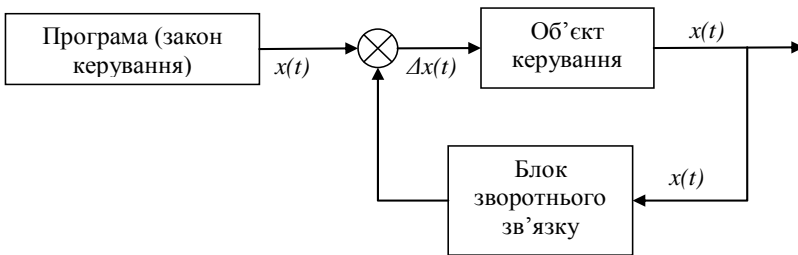


Рис. 2.1. Система із зворотнім зв'язком

- *додатнім*, коли він підтримує тенденцію змін в системі (використовується при розробці генераторів різного типу, при моделюванні систем, що розвиваються).

Структура – це зображення елементів та зв'язків між ними.

При цьому в *складних системах* структура включає не всі елементи і зв'язки між ними, а лише найбільш суттєві, які мало змінюються при поточному функціонуванні системи і

забезпечують існування системи та її основних властивостей. Іншими словами, структура характеризує організованість системи, стійку впорядкованість елементів і зв'язків. В системному аналізі складних систем управління розглядається функціональна, алгоритмічна, технічна, організаційна структура.

Структурні зв'язки мають відносну незалежність від елементів і можуть виступати як інваріант при переході від однієї системи до іншої, переносячи закономірності, виявлені та відображені в структурі однієї з них на інші. При цьому системи можуть мати різну фізичну природу.

Одна і та ж система може бути представлена різними структурами залежно від стадії пізнання об'єктів або процесів, від аспекти їх розгляду, цілі створення. При цьому в міру розвитку досліджень або в ході проектування структура системи може змінюватися.

Стан – це миттєва оцінка або фаза розвитку системи. Для системи управління вектор стану X визначається векторами управління U та збурення Z і в свою чергу визначає значення вихідної змінної Y .

Рівновага – це певний усталений стан, а перехід з одного стану в інший буде називатись поведінкою системи.

2.2. Класифікації систем

При класифікації систем необхідно зазначити, що власне класифікація – це лише модель реальності. Тому класифікацію не слід абсолютизувати: реальність завжди складніша будь якої моделі.

За субстанціональною ознакою можна виділити три класи систем:

- природні, які існують в об'єктивній реальності (жива і нежива природа, суспільство). Наприклад, атом, молекула, жива клітина, організм, популяція, суспільство;
- концептуальні, або ідеальні системи, які *відображають* реальну дійсність, об'єктивний світ. Наприклад, наукові теорії, літературні твори, тобто системи, які за різним ступенем пов-

ноти відображають об'єктивну реальність;

- штучні, які створені людиною для досягнення конкретної мети (технічні чи організаційні).

Враховуючи множину критеріїв, які характеризують структуру системи, її призначення і функціонування, виділяють класифікації систем за:

- видом об'єкта – технічні, біологічні, організаційні тощо;
- науковим спрямуванням – математичні, фізичні, хімічні тощо;

- видом формалізації – детерміновані та стохастичні;
- типом цілеспрямованості – відкриті та закриті;
- складністю структури і поведінки – прості і складні;
- ступенем організованості – добре організовані, погано організовані (дифузні); із самоорганізацією.

***Добре організовані системи** – це такі, для яких можна визначити окремі елементи, зв'язки між ними, правила об'єднання в підсистеми та оцінити зв'язки між компонентами системи та її цілями.*

В цьому випадку проблемна ситуація може описуватись у вигляді математичних зеленостей, які зв'язують мету та засоби її досягнення – критеріїв ефективності чи оцінок функціонування. Розв'язання задач аналізу та синтезу в добре організованих системах здійснюється аналітичними методами. Наприклад, сонячна система, яка описує найбільш суттєві закономірності руху планет; опис роботи електронного пристрою за допомогою системи рівнянь; аналітичні моделі об'єктів керування тощо.

Для погано організованих систем характерним є відображення та дослідження не всіх компонентів, а лише набору макропараметрів та закономірностей за допомогою певних правил вибірки. Характерним для цих систем є використання багатокритеріальних задач з численими припущеннями та обмеженнями. Наприклад, системи масового обслуговування, економічні та організаційні системи. В погано організованих системах використовується, в основному, якісна інформація, зокрема нечіткі множини.

Системи із самоорганізацією мають ознаки дифузних: стохастичність поведінки та нестаціонарність параметрів, в

той же час вони мають чітко визначену можливість адаптації до змінювання умов роботи. Наприклад, технічні адаптивні системи з еталонними моделями чи ідентифікатором.

В останні роки сформувався новий напрям прикладного системного аналізу – *синергетика* – наука про загальні процеси самоорганізації в складних неврівноважених структурах, яка висуває наукові пояснення процесів неврівноваженої впорядкованості, наприклад, в економічних системах (див. п.2.4).

2.3. Властивості систем

Під *властивістю* розуміють сторону системи (об'єкта), що зумовлюють його відмінність від інших об'єктів або схожість з ними і виявляється при взаємодії з іншими об'єктами.

Характеристика – це те, що відображає деякий властивість системи.

Розглянемо властивості систем.

З визначення “системи” випливає, що головною властивістю системи є цілісність, єдність, що досягається за допомогою певних взаємозв'язків і взаємодій елементів системи і проявляються у виникненні нових властивостей, якими елементи системи не володіють. Це властивість називається *емерджентністю*.

Емерджентність - властивість систем, яка обумовлює появу нових властивостей і якостей, не притаманних елементам, що входять до складу системи. Емерджентність – принцип, протилежний редукціонізму, який стверджує, що ціле можна вивчати, розчленувавши його на частини і потім, визначаючи їх властивості, визначити властивості цілого.

Властивості емерджентності близько властивість *цілісності* системи, проте їх не можна ототожнювати.

Цілісність системи означає, що кожен елемент системи вносить внесок у реалізацію цільової функції системи. Цілісність і емерджентність – інтегративні властивості системи. Наявність інтегративних властивостей є однією з найважливіших рис системи. Цілісність виявляється у тому, що система володіє власною закономірністю функціональності, власною метою.

Організованість - складна властивість систем, яка полягає в наявності структури та функціонування (поведінки). Неодмін-

ною приналежністю систем є їх компоненти, саме ті структурні утворення, з яких складається ціле і без чого воно неможливе.

Функціональність - це прояв певних властивостей (функцій) при взаємодії з зовнішнім середовищем. Тут же визначається мета (призначення системи) як бажаний кінцевий результат.

Структурність - це впорядкованість системи, певний набір і розташування елементів та зв'язків між ними. Між функцією і структурою системи існує взаємозв'язок, як між філософськими категоріями змістом і формою. Зміна змісту (функцій) тягне за собою зміну форми (структури), і навпаки.

Важливою властивістю системи є наявність *поведінки* - дії, змін, функціонування і т.д. Вважається, що ця поведінка системи пов'язана з середовищем (навколишнім), тобто з іншими системами, з якими вона входить в контакт або вступає в певні стосунки.

Поведінкою називається процес цілеспрямованої зміни в часі стану системи. На відміну від управління, коли зміна стану системи досягається за рахунок зовнішніх впливів, поведінка реалізується виключно самою системою, виходячи з власних цілей.

Поведінка кожної системи пояснюється структурою систем нижчого порядку, з яких складається дана система, і наявністю ознак рівноваги (гомеостазу). Відповідно до ознаки рівноваги система має певний стан (стани), яке є для неї кращим. Тому поведінку систем описують в термінах відновлення цих станів, коли вони порушуються в результаті зміни навколишнього середовища.

Одним із первинних, а, отже, базових атрибутів системного підходу, є неприпустимість розгляду об'єкта поза його *розвитком*. **Розвиток** - необоротна, спрямована, закономірна зміна матерії і свідомості, в результаті виникає нова якість або стан об'єкта.

Поза розвитком не можна уявити існування матерії, в даному випадку - системи. За наявності пильної уваги та уважного вивчення системи спочатку з'являються контури тенденцій, а потім і досить стійкі закономірності. Ці закономірності за своєю природою діють об'єктивно, тобто не залежать від того,

чи бажаємо ми їх прояву, чи ні.

Поведінка системи визначається характером реакції на зовнішні впливи. Фундаментальною властивістю систем є **стійкість** - здатність системи протистояти зовнішнім збурювальним діям. Від стійкості залежить тривалість життя системи.

Прості системи мають пасивні форми стійкості: міцність, збалансованість, регульованість, гомеостаз. А для складних визначальними є активні форми: надійність, живучість і адаптованість. Якщо стійкість простих систем (крім міцності) залежить від їх поведінки, то визначальна форма стійкості складних систем носить, в основному, структурний характер.

Надійність - властивість збереження структури системи, незважаючи на загибель окремих її елементів, з допомогою їх заміни чи дублювання, а **живучість** - як активне придушення шкідливих якостей. Таким чином, надійність є більш пасивною формою, ніж живучість.

Адаптованість - властивість змінювати поведінку чи структуру з метою збереження, поліпшення або придбання нових якостей в умовах зміни зовнішнього середовища. обов'язковою умовою можливості адаптації є наявність зворотних зв'язків.

Будь-яка реальна система існує в середовищі. Зв'язок між ними буває настільки тісним, що визначати межу між системою та зовнішнім середовищем іноді стає дуже складно. Тому виділення системи із середовища пов'язане з тим чи іншим ступенем ідеалізації. Можна виділити два аспекти взаємодії системи та середовища:

- у багатьох випадках взаємодія приймає характер обміну між системою і середовищем (речовиною, енергією, інформацією);
- середовище, зазвичай, є джерелом невизначеності для систем.

Вплив середовища може бути пасивним або активним (антагоністичним, цілеспрямовано протидіє системі). Тому в загальному випадку середовище слід розглядати не тільки байдуже, але і антогоністичне по відношенню до системи, яка досліджується.

2.4. Великі та складні системи

Існує ряд підходів до виділення системи за складністю за масштабами. Для систем керування зручно користуватись класифікацією за кількістю елементів:

- малі ($10 - 10^3$ елементів);
- складні ($10^4 - 10^7$ елементів);
- ультраскладні ($10^8 - 10^{30}$ елементів);
- суперсистеми ($10^{30} - 10^{200}$ елементів).

Характерні особливості великих систем:

- значна кількість елементів;
- взаємозв'язок та взаємодія між елементами;
- ієрархічність структури управління;
- наявність людини в контурі управління та необхідність прийняття рішення в умовах невизначеності.

Часто розділяють поняття “великі” і “складні” системи. Так, англійський кібернетик С.Бір всі кібернетичні системи розділяє на прості та складні в залежності від способу опису: детермінованого чи теоретико-ймовірнісного. Російський кібернетик Д.І.Берг всі кібернетичні системи кваліфікує на прості і складні в залежності від способу опису: складну систему можна описати не менше ніж двома математичними мовами (наприклад, за допомогою диференціальних рівнянь та булевою алгеброю).

Взагалі, чіткого розмежування між цими двома термінами немає. В теорії систем, наприклад, великою (складною, системою великого масштабу, Large Scale Systems) називають таку, яка складається з великої кількості взаємопов'язаних та взаємодіючих елементів і може виконувати складні функції.

Велика система – це сукупність матеріальних та енергетичних ресурсів, засобів отримання, засобів отримання, передачі і обробки інформації, людей, які приймають рішення на різних рівнях ієрархії. Велика система об'єднує різнотипні складні системи.

Складна система – це впорядкована множина структурно взаємозв'язаних та функціонально взаємодіючих різнотипних систем, які об'єднані структурно в цілісний об'єкт функціо-

нально різнорідними взаємозв'язками для досягнення заданих цілей в певних умовах.

Однією з ознак складної системи управління є показник живучості: при відмові певної кількості елементів система продовжує виконувати свої функції, хоча і з меншою ефективністю (проста система може бути лише в двох станах: працездатності та відмови).

Можна виділити такі властивості складних систем[18]:

- будь-яка складна система (біологічна, технічна, соціально-економічна) представляє собою структурно організовану сукупність більш простих частин (підсистем), взаємозв'язаних та взаємодіючих у процесах цілеспрямованого функціонування системи;

- кожна із систем входить як підсистема в склад більшої системи, в свою чергу підсистеми можуть представлятись як системи нижчого рівня;

- системи взаємодіють із зовнішнім середовищем, що реалізується через зовнішні зв'язки: вхідні та вихідні;

процес функціонування системи у вузькому смислі – це процес перетворення ресурсів на вході на цільові кінцеві результати основної діяльності на виході; у широкому – сукупність процесів основної діяльності в різних за масштабами процесах розвитку та удосконалення систем;

- ефективність основної діяльності системи характеризується відношенням цільових кінцевих результатів до витрат ресурсів на досягнення цих результатів та на усунення (або обмеження в допустимому діапазоні) негативних наслідків функціонування;

- цілеспрямованість процесів функціонування проявляється в намаганні підтримувати та підвищувати високу ефективність системи, адаптуючись до змін зовнішнього середовища;

- математичний опис процесів функціонування – математична модель, але при дії нестационарних випадкових сигналів процеси функціонування часто не можна описати математично, тобто формалізувати;

- процеси функціонування систем потребують управління, яке реалізується за рахунок цілеспрямованих дій та зворотних зв'язків;

- процес управління: збір інформації, її аналіз і контроль, вироблення керуючих дій, їх реалізація;
- сукупність органів управління системи та підсистем усіх рівнів разом з інформаційними зв'язками (внутрішніми та зовнішніми) – ієрархічна система управління.

2.5. Синергетика

Потужним поштовхом для розвитку нових наукових уявлень про природу систем стала поява *синергетики* як науки про процеси нелінійної самоорганізації в природі і суспільстві. Питання самоорганізації тимчасових, просторових, просто-рвов-часових структур вивчаються в рамках міждисциплінарної дисципліни, що отримала назву *синергетика*.

Дія організації проявляється в тому випадку, якщо виконується правило: “ціле більше простої суми його частин”. Цю думку висловлював ще Аристотель. У ХХ-му ст. її розвинув А.А. Богданов: “Власне таке, наприклад, елементарне співко бітництво. Вже з'єднання однакових робочих сил на якій-небудь механічній роботі може вести до зростання практичних результатів у більшій пропорції, ніж кількість цих робочих сил“. Наведений приклад є проявом закону синергії.

Закон синергії полягає в тому, що взаємодія двох або більше факторів характеризується тим, що їх дія істотно перевершує ефект кожного окремого компонента у вигляді їх простої суми.

Наприклад:

- кожен з факторів якості життя, як і самого процесу життя, має частку в сумарному процесі, а саме життя не може бути явищем розрізнених процесів і явищ, виявляючи синергізм спільно взаємодіючих явищ і процесів, що протікають на системному рівні - у процесі системогенезу;

- з'єднання двох і більше мас радіоактивного матеріалу при перевищенні критичної маси в сумі дають виділення енергії, що перевершує випромінювання енергії простого підсумовування окремих складових;

- знання та зусилля кількох людей можуть організовуватися таким чином, що вони взаємно посилюються. Приблизно про це

ж говорить і друге поняття - сверхаддитивний ефект - стан речей, звичайно передається фразою “ціле більше суми окремих частин” ($1+1=2 \cdot x$, де $x > 1$);

- прибуток після злиття двох компаній може перевершувати суму прибутків цих компаній до об'єднання;

- ціле більше простої суми своїх частин (Арістотель).

Властивості цілого не зводяться до суми властивостей його частин. Термін *synergy* в перекладі з грецького означає співробітництво, співдружність. Отриманий сумарний ефект носить назву синергетичного ефекту. Вперше термін “синергетика” використовував Г. Хаген. На думку Г. Хагена, синергетика покликана грати роль свого роду метанауки, яка помічає і вивчає характер тих чи інших закономірностей і залежностей, які окремі науки вважають “своїми”.

Синергетика, основні положення якої були сформульовані Г., Хагеном, являє собою евристичний метод дослідження відкритих систем, що самоорганізуються, схильних кооперативного ефекту, що супроводжується утворенням до просторових, часових або функціональних структур. Синергетика виникла у відповідь на кризу стереотипного, лінійного мислення, що вичерпало себе, і основними рисами якого є:

- уявлення про хаос як про виключно деструктивний початок світу;

- розгляд випадковості як другорядного, побічного чинника;

- світ вважається незалежним від мікрофлуктуацій нижчих рівнів буття і космічних впливів;

- погляд на нерівноважності і нестійкість як на прикрі неприємності, які повинні бути подолані, оскільки грають негативну, руйнівну роль;

- процеси, що відбуваються у світі, є оборотними в часі, передбачуваними на необмежено великих проміжках часу;

- розвиток відбувається лінійно, поступально, безальтернативно (а якщо альтернативи і є, то вони можуть бути тільки випадковими відхиленнями від магістрального течії, під порядковані йому і в кінцевому рахунку поглинені їм);

- пройдене представляє виключно історичний інтерес, а повернення до старого, якщо воно і має місце, є діалектичним

зняттям попереднього рівня і мають нову основу;

- світ пов'язаний жорсткими причинно-наслідковими зв'язками;

- причинні цілі носять лінійний характер, а наслідок, якщо і не тотожний причині, то пропорційно їй, тобто чим більше вкладено енергії, тим більше результат.

Синергетика намагається заповнити “білі плями”, які залишив після себе механіцизм, характеризується практично повною відсутністю узагальнень, що стосуються поведінки відкритих систем. Г. Хаген так визначив мету, яку він ставить перед собою: перевантажену величезною кількістю деталей інформацію про системи, що вивчаються сучасною наукою, необхідно стиснути, перетворивши на невелике число законів або концепцій. За висловом С. Віра, дані перетворилися на новітній різновид забруднення навколишнього середовища, їх надлишок породив інформаційний голод.

Схожі з синергетикою завдання ставлять перед собою системні дослідження. У чому ж полягає відмінність між ними, що нового вносить синергетика? Крім відмінностей, у синергетики і системних дослідженнях є і спільне. Їх об'єднують принципи системності, розвитку, ізоморфізму, типологія систем. Співвідношення синергетики і системних досліджень показує таблиця 2.1 [15].

Ефект синергії обумовлений появою нової якості, яка вже належить цілому. Але не всяке об'єднання дає синергетичний ефект. Справа не в тому, що з'єднується, а як. Головну роль тут відіграють зв'язки, що встановлюються між частинами. Зв'язок є необхідним організаційним моментом. У штучних системах ефект синергії досягається їх поступовим ускладненням за рахунок додаткових частин, кожна з яких має своє призначення. Завдяки цьому збільшуються функціональні можливості цілого.

Щоб працював механізм самоорганізації, досліджуваний об'єкт повинен мати певні властивості:

- нелінійною залежністю між параметрами системи;
- наявністю зовнішніх впливів на систему, які можна розглядати як управлінські;

- чинником множинності елементів, що початково знаходяться в стані хаосу, коли рух кожного описується стохастично.

Таблиця 2.1

Співвідношення системних досліджень і синергетики

Системні дослідження (загальна теорія систем, системний аналіз, системний підхід)	Синергетика
1. Акцент робиться на статичі систем, їх морфологічному і, рідше, функціональному описі	1. Акцентує увагу на процесах росту, розвитку і руйнування систем
2. Надається велике значення впорядкованості, рівновазі	2. Вважає, що хаос грає важливу роль у процесах руху систем, причому не тільки деструктивну
3. Вивчаються процеси організації систем	3. Досліджуються процеси самоорганізації систем
4. Найчастіше, зупиняючись на стадії аналізу структури системи, абстрагуються від кооперативних процесів	4. Підкреслюється кооперативність процесів, що лежать в основі самоорганізації та розвитку систем
5. Проблема взаємозв'язку розглядається в основному як взаємозв'язок компонентів усередині системи	5. Вивчається сукупність внутрішніх і зовнішніх взаємозв'язків системи
6. Джерело руху знаходиться в самій системі	6. Визнається більша роль середовища у процесі зміни системи

Механізм самоорганізації, що розглядається в рамках синергетики, полягає в наступному. Під дією зовнішніх збурень або через випадкові відхилення (флуктуації) система переходить у нестійкий стан. У результаті цього виникає порядок на рівні

макростанів, тобто система набуває нової структури, нового вигляду, що відрізняється стійкістю. Це може знайти втілення в об'єднанні елементів, утворенні нових зв'язків чи трансформацій елементів, а значить, придбанні ними нових властивостей.

Синергетика як свого роду “природничо-наукова компонента” системного підходу, з її поняттями нестійкості, нерівноваги, нелінійності, біфуркації, катастрофи істотно збагатила понятійний апарат системного мислення і в значній мірі сприяла формуванню нової парадигми сучасних системних досліджень.

Синергетика заснована на ідеях системності світу і наукового знання про нього, спільності закономірностей розвитку об'єктів усіх рівнів матеріальної і духовної організації, нелінійності (тобто багатоваріантності і незворотності), глибини взаємозв'язку хаосу і порядку (випадковості і незворотності), відкритості світу, безперервно виникаючого по нелінійним законам. Предметом вивчення синергетики є механізми самоорганізації.

Синергетична зв'язок - зв'язок в системі, яка при спільному функціонуванні незалежних елементів системи забезпечує збільшення загального ефекту до величини більшої, ніж сума ефектів цих же елементів, діючих незалежно, тобто посилює зв'язок елементів системи.

Ефекти синергії:

- ефект взаємного посилення зв'язків однієї системи з іншою на рівні матеріального потоку;
- спільний (корпоративний) ефект взаємодії елементів у системі.

Сукупність елементів, що утворюють систему, організована, якщо її потенціал більше суми потенціалів вхідних у неї елементів окремо. Під “потенціалом” розуміється наявність можливостей, що дозволяють зробити що-небудь, виконати певну роботу».

У добре організованій системі взаємодії структурних елементів (a_1, a_2, \dots, a_n) системи A взаємоузгоджені, синхронізовані і спрямовані на досягнення спільної мети. Потенціал P такої системи за певним параметром більше суми потенціалів всіх складових елементів (підсистем):

$$P(A) > [P(a_1) + P(a_2) + \dots + P(a_n)].$$

Чим вище взаємоузгодження дій елементів у системі, тим вище її організованість і тим більше перевищує потенціал системи суму потенціалів усіх складових елементів (під-систем). Це наочно демонструє, наприклад, добре організована команда співробітників функціональних підрозділів підприємства, коли при обговоренні поставлених перед командою завдань народжується нове знання, яким до цього не мали окремі члени команди. Тому потенційне знання команди як системи більше, ніж сума потенціалів знань окремих членів команди.

Коли ступінь організованості системи низький через відсутність узгодженості та цілеспрямованості при взаємодії елементів системи, потенціал системи дорівнює або менше сумі потенціалів складових елементів:

$$P(A) \leq [P(a_1) + P(a_2) + \dots + P(a_n)]$$

Зі сказаного випливає, що для досягнення високого потенціалу системи необхідні постановка чіткої мети і організація взаємоузгодженої взаємодії складових елементів, інакше будуть відсутні інтегративні якості системи і сама система в правильному її розумінні.

Основною характеристикою потенційності є цілісність або відсутність явно виражених “частин”. Її специфіка визначається також тим, що вона характеризує можливу поведінку об'єктів, здатних змінювати закони свого функціонування. Розкриття її змісту передбачає використання таких понять, як нестійкість, нелінійність, альтернативність, цілісність і необумовленість.

З'ясування ролі нестійкості в поведінці складних систем заснована на ефекті “обміну стійкістю”, який виникає тільки в системах, що мають властивість нелінійності.

Розділ 3. МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ

3.1. Моделювання як метод наукового пізнання

Моделювання як метод наукового пізнання виникло у зв'язку з необхідністю розв'язування завдань, які з тих чи інших причин не можуть бути розв'язані безпосередньо. Вони виникають у випадках, коли об'єкт недосяжний за своєю природою, коли він ще не існує і потрібно обрати найкращий варіант його створення, коли дослідження реального об'єкта вимагає багато часу, економічно не вигідне тощо.

Як засіб пізнання моделювання використовується людством здавна. При вивченні невідомого людина завжди прагне співставити невідоме з уже відомим, в процесі чого відбувається перенесення знань з відомого на невідоме. Таке перенесення знань з одних об'єктів на інші, які в певному сенсі подібні між собою, в логіці називається виведенням за аналогією.

Грунтуючись на аналогії, в науковому дослідженні висуваються гіпотези, тобто передбачення, які будуються на невеликій кількості дослідних даних, спостережень, здогадок, перевірка істинності яких здійснюється шляхом експерименту. Виведення за аналогією може призвести також і до помилкових висновків; воно буде правомірним лише в тому випадку, коли старанно проаналізовані ознаки спільності та відмінності явищ, які порівнюються. Доказову силу воно набуває лише після підтвердження його експериментально.

Слово “*модель*” походить від латинського “*modus, modulus*”, що відповідає за змістом таким поняттям, як міра, образ, спосіб тощо. Початкове значення слова було пов'язане з будівництвом і майже на всіх мовах країн Європи ним почали називати деякі речі та зв'язки, які були подібні в якомусь відношенні до інших речей.

Разом з цим, моделі, як специфічний *засіб наукової думки*, використовуються вченими античного світу. Достатньо навести, як приклади, уявлення Демокріта та Епікура про атоми, форми та спосіб їх з'єднання; трактат Архімеда “Про тіла, що плавають”, де ним побудована, по суті, модель рідини; космологічну картину (модель) Всесвіту за Аристотелем тощо [18].

Наступний етап розвитку методів моделювання пов'язується з

епохою Відродження, коли почалось систематичне використання масштабних матеріальних моделей, головним чином, в архітектурно-будівничій та інженерній, особливо в гідротехнічній справах. Так, при спорудженні куполу собору у Флоренції спочатку виготовили малу масштабну модель, яка була розгляднута та затверджена спеціальним журі, потім виготовлявся більш великий робочий макет і, нарешті, за цим наочним зразком безпосередньо велося будівництво самого куполу.

Промислова революція XVIII-XIX ст. стимулювала розвиток методів макетного моделювання і сприяла привертанню уваги до вирішення технічних задач цілого ряду провідних вчених того часу, таких, наприклад, як І.Ньютон, Л.Ейлер, Д.Бернуллі. Така експансія науки в техніку до появи нових технічних дисциплін як загальнотехнічного характеру (теорія машин і механізмів, опір матеріалів, технічна термодинаміка тощо), так і вузько-спеціалізованих (теорія парової машини, терія корабля тощо).

Одночасно з розвитком методів матеріального моделювання відбувався інтенсивний розвиток методів *ідеального*, або теоретичного моделювання. В науках про природу слово “модель” почали застосовувати, коли намагались зобразити деяку область явищ за допомогою іншої, краще вивченої або більш зрозумілої чи легкої для сприйняття. Такою була геліоцентрична модель Коперника, хвильова чи корпускулярна моделі світла Х.Гюйгенса та І.Ньютона, модель атома за Дж.Дж.Томпсоном та “планетарна” модель атома Е.Резерфорда.

По суті, весь ранній період формування наукових уявлень про електричні, магнітні, оптичні явища базувалася на гіпотетичних механічних аналогіях і відповідних ідеальних моделях. Характерним у цьому сенсі є вислів В.Томсона (лорда Кельвіна), проголошений у його славнозвісних “Балтиморських лекціях”, про те, що “зрозуміти явище – це значить побудувати його механічну модель”. Ці моделі підлягали експериментальній перевірці, в результаті чого вони модифікувалися і приймали форму законів (закони Ома, Біо-Савара-Лапласа, Ерстеда, Фарадея, Кірхгофа, рівняння Максвелла тощо).

В технічних науках закони, що були запозичені з природничих наук та доповнені великою кількістю дослідних даних,

стали основою при переході від вивчення загальних фізичних явищ до аналізу та розрахунків конкретних технічних засобів. Для полегшення такого переходу в групі дисциплін електротехнічного профілю (теорія електричних машин постійного і змінного струму, теорія дротяного зв'язку, теорія електричних вимірювань тощо) було винайдено спеціальні засоби, що описували фізичні явища, які відбувались в тих чи інших технічних пристроях. Такими *засобами проектування* технічних об'єктів в цих дисциплінах стали, наприклад, еквівалентні електричні схеми, векторні діаграми, графоаналітичні методи розрахунків тощо. Використання аналітичних співвідношень, які базуються на фізичних законах, означало, фактично, застосування *математичних моделей* при проектуванні технічних систем.

Широке використання математичних моделей в різних галузях техніки призвело до того, що наприкінці 50-х рр. XX ст. математичне моделювання сформувалось у самостійний метод дослідження, який складається з опису властивостей довільного об'єкту мовою математики з метою подальшого дослідження цього опису також математичними методами.

В математичних науках після створення Р.Декартом і П.Ферма аналітичної геометрії, на базі якої ствердилась ідея про узгодженість між різними розділами математики, словом “модель” почали позначати теорію, яка має структурну подібність по відношенню до іншої теорії, тобто є *ізоморфною*.

Одночасно в математиці виникло і використовується поняття моделі, близьке за значенням до того, що фігурує в природничих (фізичних, механічних) та технічних науках – поняття *математичної моделі*. По суті справи, в математиці поняття моделі як *ізоморфної теорії* відрізняється від поняття математичної моделі в тому значенні, яке використовується в технічних науках, тим, що в першому випадку початковим об'єктом дослідження є ідеальний об'єкт – певна теорія, а в другому – матеріальний об'єкт, деякий технічний пристрій, технічна система. В обох випадках засобом дослідження (моделювання) є ідеальний об'єкт – математичні методи.

Якщо результати моделювання підтверджуються і можуть слугувати основою для прогнозування процесів, які відбуваються

в об'єктах, що досліджуються, то в цьому випадку говорять, що модель *адекватна* об'єкту. При цьому адекватність залежить від мети моделювання та використаних критеріїв.

3.2. Визначення моделі

Модель є представленням об'єкту, системи або ідеї в деякій формі, відмінній від форми їх реального існування. Моделлю користуються, як засобом, яка допомагає нам в дослідженні, обґрунтуванні, розумінні чи вдосконаленні системи. Модель об'єкту може бути або точною копією цього об'єкту (хоча і виконаною із іншого матеріалу і в іншому масштабі), або відображати певні характерні якості об'єкту в абстрактній формі.

Метод моделювання відрізняється від інших методів пізнання тим, що об'єкт вивчається з його допомогою не безпосередньо, а шляхом дослідження іншого об'єкту, аналогічного в певному сенсі першому[9]. При моделюванні між суб'єктом-дослідником та об'єктом пізнання знаходиться проміжна ланка - модель (рис. 3.1).

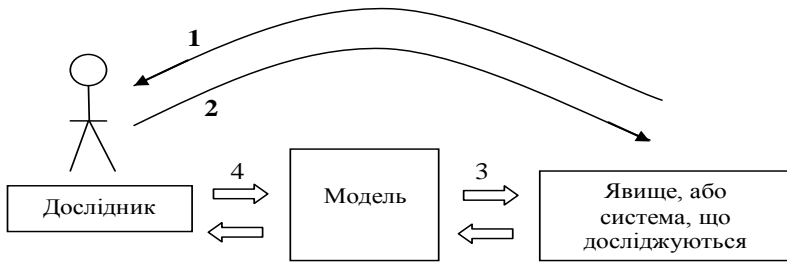


Рис. 3.1. Взаємні зв'язки між системою і моделлю

Таким чином, в найзагальнішому значенні моделі можна дати таке визначення: **модель деякої системи або явища** – це специфічний об'єкт, який створюється у формі чи уявного образу, чи опису певними засобами, чи матеріального витвору і який відображає чи відтворює суттєві властивості системи, яку він заміщує, з метою дослідження початкової системи шляхом дослідження самої моделі, оскільки таке дослідження моделі є більш простим з точки зору реалізації дослідження самої системи[18].

Це означення проілюстровано на рис. 3.2.

Таким чином, *модель* є не просто образом – заміником оригіналу, і не просто відображенням взагалі, а цільовим відображенням, що виявляється у множинності моделей одного і того ж об'єкта – для різних цілей будуються різні моделі, і модель відображає не об'єкт оригінал сам собою, а те, що нас цікавить у ньому.

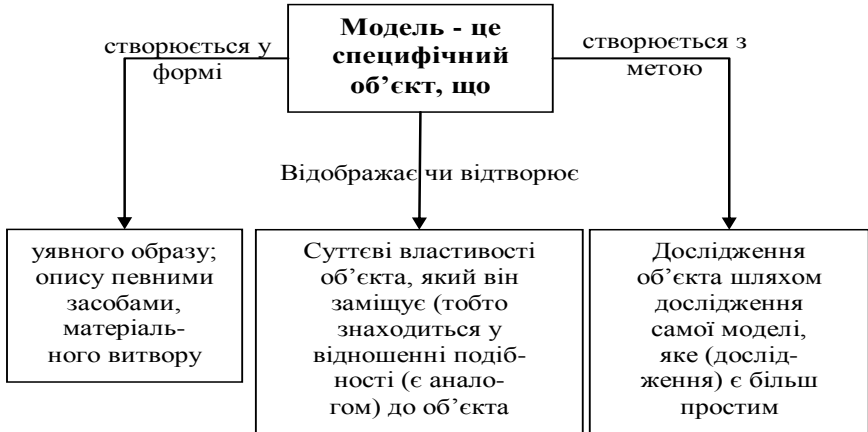


Рис. 3.2. Узагальнене означення поняття моделі

Можна зробити висновок, що модель повинна бути:

- простою і зрозумілою користувачу;
- цілеспрямованою;
- надійною (в сенсі гарантованою від абсурдних відповідей);
- зручною в керуванні та користуванні;
- повною з точки зору можливостей розв'язання першочергових задач;
 - адаптивною, що дозволить легко переходити до інших модифікацій, або оновлювати дані;
 - такою, що допускає зміни в тому сенсі, що при взаємодії з користувачем вона може ставати більш складною.

3.3. Функції і класифікація моделей

3.3.1. Функції моделей

Корисність моделі як засобу осмислення реальних зв'язків та закономірностей є досить очевидною. Моделі допомагають нам впорядкувати наші нечіткі або суперечливі поняття. Правильно побудована модель змушує нас організовувати наші задуми, оцінити та перевіряти їх обґрунтованість. Моделі застосовувались та продовжують застосовуватись в якості[23]:

- засобів осмислення дійсності;
- засобів спілкування;
- засобів навчання та тренувань;
- інструменту прогнозування;
- засобів постановки експериментів.

Загально відомі такі застосування моделей, як натурні макети або моделі космічних кораблів, які використовуються для тренувань космонавтів, тренажери для навчання водіїв автомобілів, ділові ігри для підвищення кваліфікації персоналу фірм.

Одним із найбільш важливим застосувань моделей як в історичному, так і в практичному аспектах є прогнозування поведінки об'єктів, які моделюються. Будувати ультразвуковий літак для визначення його льотних характеристик економічно недоцільно, однак вони можуть бути передбачені засобами моделювання. При польоті космічного корабля “Аполлон-13” імітаційне моделювання було застосоване для аналізу надзвичайних заходів до того, як були віддані команди на їх здійснення; ці заходи дали можливість космонавтам повернутися на Землю неушкодженими після вибуху балона з киснем.

Застосування моделей дозволяє проводити контрольовані експерименти в ситуаціях, де експерименти на реальних об'єктах були б практично неможливими або економічно недоцільними. Безпосередній експеримент з системою полягає, зазвичай, в зміні деяких параметрів системи, інші параметри залишаються незмінними, і спостереженні результатів експерименту. Якщо ставити експеримент на реальній системі економічно не вигідно, або практично неможливо, часто можна побудувати таку модель, на

які необхідні експерименти виявляються недорогими і досить простими. При наявності моделі складної системи ми часто маємо можливість більше зрозуміти про взаємодію різноманітних внутрішніх чинників, ніж при дослідженні реальної системи. Це стає можливим завдяки наявності можливості вимірювань структурних елементів моделі, оскільки ми можемо легко контролювати поведінку системи, легко змінювати її параметри тощо.

В техніці моделі використовують в якості допоміжних засобів при розробці нових, або більш досконалих систем, в той же час як в соціальних науках моделі пояснюють існуючі системи. Модель, яка придатна для цілей розробки системи, повинна також і пояснювати її.

3.3.2. Класифікації моделей

Моделі можна класифікувати за різними ознаками. Наведемо деякі типові групи моделей, які можуть бути покладені в основу системи класифікації [9]:

- статичні і динамічні;
- детерміновані, стохастичні та моделі з невизначеністю;
- дискретні, безперервні дискретно-безперервні;
- фізичні (натурні), символічні (мовні, математичні) тощо.

На рис. 3.3 представлена класифікація моделей у вигляді безперервного спектру, який “починається” з точних, фізичних моделей (макетів реальних об’єктів) до абсолютно абстрактних математичних моделей [23]:

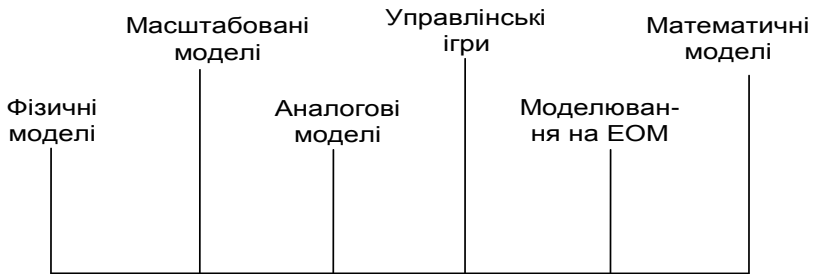


Рис. 3.3. Класифікаційний “спектр”

При моделюванні складної системи дослідник, зазвичай, змушений використовувати сукупність декількох моделей. Будь-яка система, або підсистема може бути представлена різними способами, які відрізняються один від одного за складністю та деталізацією. В більшості випадків в результаті системних досліджень отримують декілька моделей однієї системи (підсистеми). А по мірі того, як дослідник краще розуміє проблему і більш глибоко її аналізує, прості моделі замінюються більш складними.

Моделі також можна розглядати як *пізнавальні* та *прагматичні*, що відповідає поділу цілей на теоретичні і практичні. *Пізнавальні* моделі – форма організації і представлення знань, засіб з'єднання нових знань та тих, що вже відомі. При виявленні розбіжностей між моделлю та реальністю виникає задача усунення цих розбіжностей за допомогою зміни моделі. Таким чином, пізнавальна діяльність орієнтована на наближення моделі до реальності, яку модель відображає.

Прагматичні моделі – засіб керування, засіб організації практичних дій, спосіб представлення зразково-правильних дій або їх результату, тобто суть робочі представлення цілей. Тому використання прагматичних моделей полягає в тому, щоб при виявленні розбіжностей між моделлю та реальністю спрямувати зусилля на зміну реальності таким чином, щоб наблизити реальність до моделі. Тобто прагматичні моделі грають роль стандарту, зразку, під які підлаштовуються як сама діяльність, так і її результат. Приклади прагматичних моделей: плани і програми дій, статuti організацій, кодекси законів, алгоритми, робочі креслення та шаблони, екзаменаційні вимоги тощо.

Таким чином, відмінність між пізнавальними та прагматичними моделями можна сформулювати таким чином: *пізнавальні моделі відображають існуючі системи (або їх функціонування), а прагматичні – бажані системи (або бажані їх характеристики).*

Моделі також можуть відображати *статичні*, або *динамічні* характеристики систем. *Статична модель* – це “моментальна фотографія” об'єкта, наприклад, структурна модель системи. Коли ж дослідника цікавить відмінності станів системи, виникає необхідність у відображенні процесу зміну станів. Такі моделі називають динамічними (наприклад, функціональна модель системи).

3.3.3. Фізичні моделі

Для того, щоб деяка матеріальна конструкція могла бути відображенням, тобто замінювала у якомусь відношенні оригінал, між оригіналом і моделлю повинно бути встановлено відношення подібності.

Перш за все це подібність, яка встановлюється в результаті фізичної взаємодії в процесі створення моделі. Як приклади таких відображень можна навести фотографії, масштабовані моделі літаків, кораблів та гідротехнічних споруд, макети будівель, ляльки, протези, шаблони тощо. Таку подібність називають *прямою*. Тільки при прямій подібності можлива взаємозамінність моделі та оригіналу (копії творів мистецтв, голографічні зображення предметів тощо).

Але якою б досконалою не була б модель, це все ж тільки замітник оригіналу, яка виконує роль об'єкту-оригіналу тільки у певному сенсі. Навіть тоді, коли модель виготовлена із того ж матеріалу, що і оригінал, виникають проблеми переносу результатів моделювання на оригінал. Наприклад, випробування зменшеної моделі корабля на гідродинамічні якості. Частину умов можна привести у відповідність масштабам моделі (швидкість течії), інша частина умов не може бути (в'язкість, щільність, сила тяжіння, які визначають якості хвиль) не може бути масштабована. Задача перерахунку даних модельного експерименту на реальні умови стає нетривіальною. Через це виникла окрема розгалужена теорія подібності, яка відноситься саме до моделей прямої подібності.

Інший тип подібності можна назвати *непрямим*[18]. Така подібність між оригіналом та моделлю встановлюється не в результаті їх фізичної взаємодії, а об'єктивно існує в природі і виявляється у вигляді збігу або достатньої близькості їх абстрактних моделей, і після цього використовується у практиці реального моделювання. Найбільш відомим прикладом цього є електромеханічна аналогія. Виявилось, що деякі закономірності електричних та механічних процесів можна описати ідентичними рівняннями; відмінність полягає лише у різній фізичній інтерпретації змінних, які входять у ці рівняння. В результаті виявилось можливим замінити незручний та громіздкий експе-

римент з механічною конструкцією на прості досліди з ефектричною схемою; спробувати множину варіантів, але при цьому не змінювати саму конструкцію, але “програти” на моделі ці варіанти, які в механіці поки нездійсненні (наприклад, з довільною та безпервною зміною маси, довжини тощо).

Приклади непрямих моделей: годинник – аналог часу, піддослідні тварини у медиків – аналоги людського організму, автопілот – аналог льотчика; електричний струм в окремих колах може моделювати транспортні потоки інформації в мережах зв’язку, потоки води у міській водогінній мережі тощо.

Третій, особливий клас реальних моделей створюють моделі, які не є прямими або непрямыми, а встановлюються в результаті певних угод. Така подібність є *умовною*. Як приклад такої подібності можна навести гроші (модель вартості), посвідчення особи (офіційна модель власника посвідчення), різноманітні сигнали (моделі повідомлень), робочі креслення (моделі майбутньої продукції), географічні карти (модель місцевості).

З моделями умовної подібності доводиться мати справу досить часто, оскільки вони є засобом матеріального втілення абстрактних моделей, певною формою, в якій абстрактні моделі можуть передаватися від однієї людини до іншої, зберігатися до моменту їх використання, відчужуватися від свідомості і все ж таки зберігати можливість повернення в абстрактну форму. Це досягається з допомогою угод про те, який стан реального об’єкта ставиться у відповідність даному елементу абстрактної моделі. Такі угоди приймають вигляд сукупності правил побудови моделей умовної подібності і правил користування ними.

3.3.4. Математичні моделі

Як було сказано вище, одним із перших застосувань ідеї моделювання будл фізичне моделювання (макетування). Та все ж, експериментуванню з фізичними моделями притаманні суттєві недоліки: виготовлення моделей є подекуди трудомісткою справою і потребує досить багато часу, його вартість велика; методи вимірювання величин, що фігурують в моделі та підлягають визначенню, в основному є неточними, спотворюючими картину досліджень.

В міру розвитку і математизації природничих та технічних наук поруч із фізичним моделюванням набув розвитку інший шлях – *математичне моделювання*, при якому спочатку виконується опис об'єкта мовою математики, а потім проводиться дослідження саме цього опису – математичної моделі, знову ж таки, методами математики. Такий підхід до дослідження технічних об'єктів виявився дуже плідним і досить універсальним в силу абстрактності мови математики. Універсальність дослідження реальних систем за допомогою математичних моделей пов'язана, в першу чергу, з обмеженістю кількості видів базових математичних структур, що виникають при цьому як математичні моделі.

Таким чином, *математична модель фізичного об'єкта (технічної системи)* - це математична структура, елементи якої тлумачаться як ідеалізовані реальні фізичні об'єкти, а абстрактні відношення між ними – як конкретні зв'язки між елементами фізичного об'єкта. Така модель дозволяє скласти компактний перелік властивостей об'єкта, аналізувати і прогнозувати ці властивості, а значить, як наслідок – і поведінку фізичного об'єкта[18].

Кажуть, що існують пряма та обернена задачі моделювання: *аналіз* моделі та її *синтез*. Задача аналізу моделі, фактично, зводиться до тієї чи іншої проблеми, що характеризує даний клас математичних структур. Задача синтезу полягає в тому, що необхідно за відомими результатами аналізу або вимірювань побудувати модель (визначити структуру моделі та її параметри).

Власне схему формування математичної моделі можна представити у вигляді трьох етапів (рис. 3.7):

1. **Етап аналізу системи.** Дії, які складають цей етап, спрямовані на вивчення системи і звершуються отриманням концептуальної моделі. Основним змістом цього етапу є представлення у вигляді сукупності елементів (декомпозиція), послідовне дослідження кожного елемента та зв'язків між ними.

2. **Етап синтезу системи.** Цей етап полягає в отриманні моделей окремих елементів, формалізації їх зв'язків і в послідовному переході від елементу до цілісної моделі. Етап завершується отриманням математичної моделі системи. Для систем,

які погано формалізуються, можна обмежитись описом окремих фрагментів системи. Інша ж частина буде характеризуватись вербально.

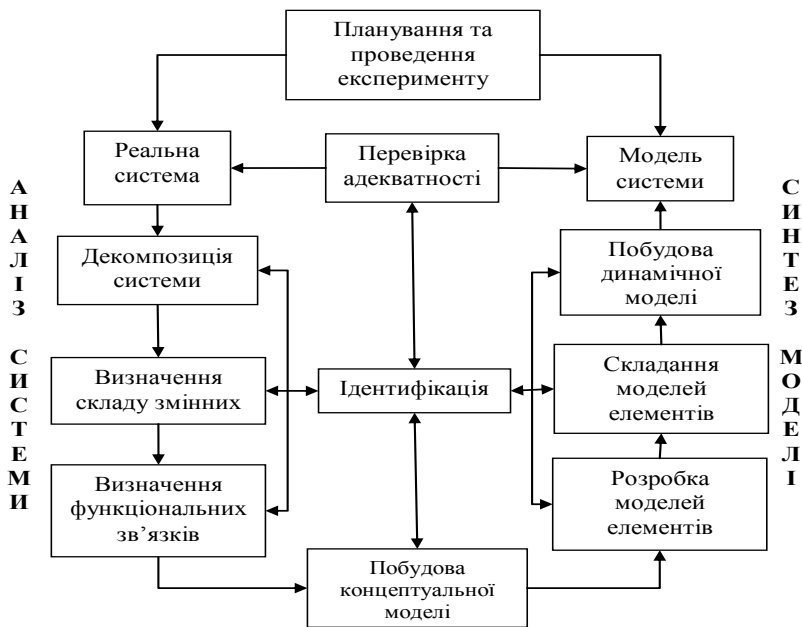


Рис. 3.7. Схема формування математичної моделі системи

3. Етап перевірки адекватності моделі та системи. Ця процедура супроводжує всі етапи побудови моделі. Її задача полягає в задоволенні вимог експерта по забезпеченню адекватності моделі і, власне, системи в сенсі досягнення не обхідної точності опису процесів, які представляють інтерес для експерта.

Контроль адекватності здійснюється на основі використання теорії ідентифікації. Зміст теорії полягає у визначенні тотожності всієї системи або її елементу прийнятому аналогу (моделі). При цьому використовується методологія “чорної скрині”: відомі вхідні та вихідні сигнали, з визначеною точністю обрана модель. Потрібно ввести в модель такі коефіцієнти або так її

структурно перетворити, щоб у відповідності із заданим критерієм була досягнута динамічна ідентичність реакцій системи і моделі. Тобто перевірка якості моделі всієї системи (або її елемента) повинна довести, що вона реагує так само, як система (елемент) на ідентичні вхідні дії. Нарешті, при аналізі системи здійснюється її декомпозиція із встановленням характеристик структурних елементів і зв'язків, а при синтезі моделі має місце агрегування, складання моделі з її фрагментів. Обидва процеси контролюються процедурою адекватності шляхом проведення ідентифікації якостей системи і моделі.

3.4. Множини. Операції над множинами

Множиною називається деяка сукупність цілком відмітних об'єктів, які мають спільну ознаку; і ця сукупність розглядається як одне ціле.

Приклади множин: студенти однієї академічної групи, цілі числа; геометричні фігури, які мають чотири кути тощо. Для вказівки того, що деякий елемент a належить до множини A використовується символ \subset належності множини.

Множини бувають скінченні та нескінченні. Множина є *скінченною*, якщо існує натуральне число N , яке дорівнює кількості її елементів. Множина є *нескінченною*, якщо кількість її елементів – нескінченне число.

Множину можна задати двома способами:

- переліком всіх елементів, що складають множину;
- описом характерних властивостей, які притаманні всім елементам множини.

Важливим поняттям теорії множин є поняття *пустої множини*. Пустою множиною називають множину, яке не містить жодного елемента. Пуста множина позначається \emptyset . Наприклад:

$$\{x \in C : x^2 - x - 1 = 0\} = \emptyset.$$

Поняття пустої множини грає дуже важливу роль у випадку, коли множину задають за допомогою опису. Так, без поняття

пустої множини ми не змогли би говорити про множину відмінників в групі, або про множину дійсних коренів квадратного рівняння, не впевнившись попередньо, є в даній групі взагалі відмінники, чи має дане рівняння дійсні корені. Введення пустої множини дозволяє абсолютно спокійно оперувати з множиною відмінників групи, не турбуючись про те, є чи немає в групі відмінників. Пусту множину відносять до кінцевих множин. Для наочного відображення відношень між множинами використовують *кола Ейлера*. Зазвичай, множини зображаються у вигляді кіл, або інших простих областей. Операції над колами Ейлера:

1. **Включення множин** A та B у випадку, коли множина A містить множину B . зображено на рис. 3.8

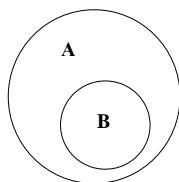


Рис. 3.8. Зображення колами Ейлера операції включення множин B та A

Математично це записується таким чином:

$$B \subset A.$$

2. **Об'єднання множин** X та Y є множина, що складається з елементів, які належать хоча б одній множині (рис. 3.9):

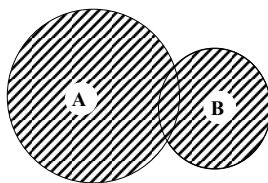


Рис. 3.9. Зображення колами Ейлера операції

об'єднання множин A та B

Якщо множина C є об'єднанням множин A та B , то ці відношення можна записати таким чином:

$$C = A \cup B.$$

Для операції об'єднання справедливий комутативний та асоціативний закони.

$$A \cup B = B \cup A;$$

$$(A \cup B) \cup C = (A \cup B) \cup A.$$

Також вірно:

$$A \cup \emptyset = A.$$

3. **Перетином множин A та B** є множина, що складається з усіх тих і лише тих елементів, які належать як множині A так і множині B (рис. 3.10). Перетин позначається символом \cap .

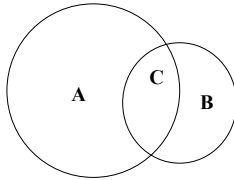


Рис. 3.10. Зображення колами Ейлера операції перетину множин A та B

Математично це записується таким чином:

$$C = A \cap B.$$

4. **Різницею множин A та B** є множина, що складається з усіх тих і лише тих елементів, які належать множині A і не належать множині B . Таке відношення позначається символом “ \setminus ”.

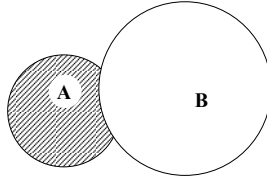


Рис. 3.11. Зображення колами Ейлера операції різниці множин A та B

Математично це записується таким чином:

$$C = A \setminus B.$$

5. **Універсальна множина I** – це така множина, що відіграє в алгебрі множин роль одиниці (нуль відіграє пуста множина).

$$A \cap I = A,$$

аналогічно $a \cdot 1 = a$.

Це означає, що перетин множин A та I для будь-якої множини A співпадає з цією самою множиною. Для універсальної множини справедливе наступне:

$$A \cup I = I.$$

6. **Доповнення множини A** (до універсальної) є множина \bar{A} , що визначається за правилом:

$$\bar{A} = I \setminus A.$$

При цьому \bar{A} та A не мають загальних елементів: $\bar{A} \cap A = \emptyset$.

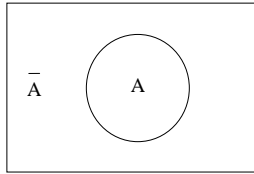


Рис. 3.12. Зображення колами Ейлера універсальної множини I та доповнення до неї \bar{A} множини A .

Також множина I не має елементів, які б не належали \bar{A} або A :

$$\bar{A} \cup A = I.$$

7. Розбиття множини W називають систему множин $M = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, якщо виконуються такі умови:

- будь-яка множина A (позначається квантором) з множини M є підмножиною множини W :

$$\forall A \in M [A \subseteq W];$$

- будь-які дві множини A та B з множини M є такими, що не перетинаються:

$$\forall A, B \in M [A \neq B \rightarrow A \cap B \subseteq \emptyset];$$

- об'єднання всіх підмножин, що входять до розбиття, дає множину W :

$$\bigcup_{A \in M} A = W.$$

Ця операція є однією з найбільш поширених операцій, що

застосовуються над множинами.

8. **Диз'юнктивно сумою множин A та B** є множина всіх елементів, що належать або A , або B , але не обом одночасно (рис. 3.13).

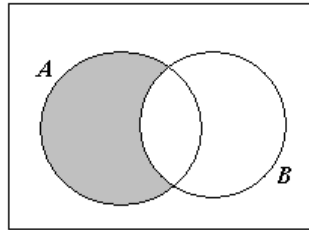


Рис. 3.13. Зображення колами Ейлера операції диз'юнктивної суми множин A та B

3.5. Моделі складу системи

При розгляді будь-якої системи все виявляється, що її цілісність та відокремленість є зовнішніми якостями, а сама система розглядається як “чорна скриня”. Внутрішні властивості цієї “чорної скрині” виявляються неоднорідними, що дозволяє розрізняти складові частини системи (рис. 3.8).

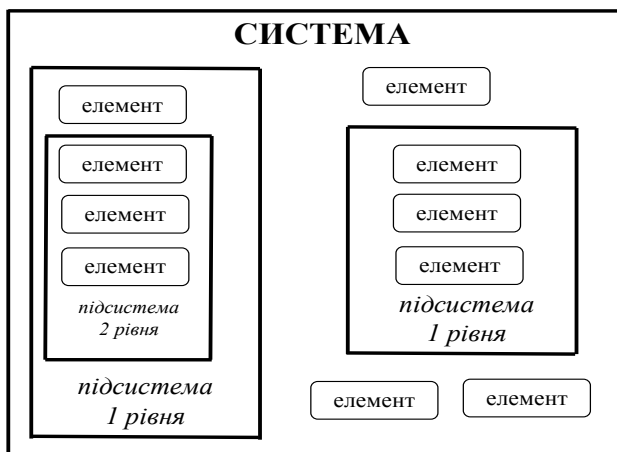


Рис. 3.8. Модель складу системи

При більш детальному розгляді деякі частини системи можуть бути, в свою чергу, розбиті на складові частини тощо. Ті частини системи, які ми розглядаємо як неподільні, будемо називати елементами. Частини системи, які мають в своєму складі більше одного елемента, будемо називати підсистемами. При необхідності можна застосувати терміни, які вказують на ієрархію частин (“підпідсистеми”, “підсистеми k -го рівня”). В результаті отримуємо **модель складу системи**, яка містить відомості про те, з яких підсистем та елементів вона складається. В табл. 3.1 показані системи, та складові цих систем: підсистеми та елементи.

Таблиця 3.1.

Системи, підсистеми та елементи

№ п/п	Системи	Підсистеми	Елементи
1.	Система телебачення	Підсистема передачі	1. Центральна телестудія 2. Антенно-передавальний центр
		Канал зв'язку	1. Середовище розповсюдження радіохвиль 2. Супутники-

			ретранслятори
		Приймочна підсистема	1. Місцеві телецентри 2. Телевізори споживачів
2.	Сім'я	Члени сім'ї	1. Дружина 2. Чоловік 3. Предки 4. Нашадки 5. Інші родичі
		Майно сім'ї	1. Загальне житло і господарство 2. Особиста власність членів сім'ї
3.	Опалювальна система житлового будинку	Джерело тепла	1. Котельня (або відвід від центральної теплотраси)
		Підсистема розподілення тепла	1. Труби 2. Калорифери 3. Вентилі
		Підсистема експлуатації	1. Служба експлуатації та ремонту 2. Персонал

В свою чергу, підсистеми також можуть мати в своєму складі окремі елементи.

Побудова моделі складу моделі тільки на перший погляд здається простою справою. Якщо різним експертам дати завдання визначити склад однієї і тієї ж системи, то результати їх діяльності будуть різнитися, іноді дуже суттєво. Причини цього не тільки в різній степені знання самої системи, навіть один і той же експерт може дати різні моделі при різних умовах. Можна виділити три причини цього факту [18].

По перше, різні моделі отримують тому, що різні експерти по-різному розуміють елементарність елементів підсистеми. Тобто те, що з однієї точки зору може здаватися елементом, з іншої точки виявляється більш складною і розглядається як підсистема.

По друге, модель складу є цільовою, і для різних цілей один і той же об'єкт може бути розділений на різні складові. Наприклад, один і той же завод з точки зору директора, голов-

ного бухгалтера та начальника пожежної охорони складається абсолютно з різних систем.

По третє, будь-яке ділення цілого на складові, системи на підсистеми є умовною процедурою. Наприклад, гальмівну систему автомобіля можна віднести як до ходової частини, так і до системи керування.

Це стосується і меж між самою системою та оточуючим середовищем. Таким чином, модель складу обмежується “знизу” тим, що вважається елементом, “зверху” - межею системи. Як межа між системою і зовнішнім середовищем, так і межі між підсистемами всередині системи визначаються цілями побудови моделі і, відповідно, не мають абсолютного характеру. Це не означає, що система (або її склад) не реальні. Просто ми маємо справу не з різними системами, а з різними моделями системи.

3.6. Моделі структури системи

Необхідно зазначити, що для досягнення ряду практичних цілей достатньо моделі “чорної скрині”, або моделі складу. Однак бувають задачі, які неможливо розв’язати за допомогою цих моделей. Необхідно також правильно поєднати всі складові між собою, тобто встановити між елементами певні зв’язки – *відношення*.

Сукупність необхідних і достатніх для досягнення цілі відношень між елементами називається структурою системи.

На рис. 3.9 показаний приклад структурної схеми уявної системи. Між реальними елементами, які складають систему, існує величезна (іноді нескінченна) кількість відношень. Але коли ми розглядаємо деяку сукупність об’єктів як систему, то з усіх відношень важливими, суттєвими для досягнення цілі, можна назвати лише деякі. Тобто в модель структури (в перелік відношень) ми включаємо тільки кінцеву кількість зв’язків, які, за нашою думкою, суттєві по відношенню до нашої конкретної цілі.

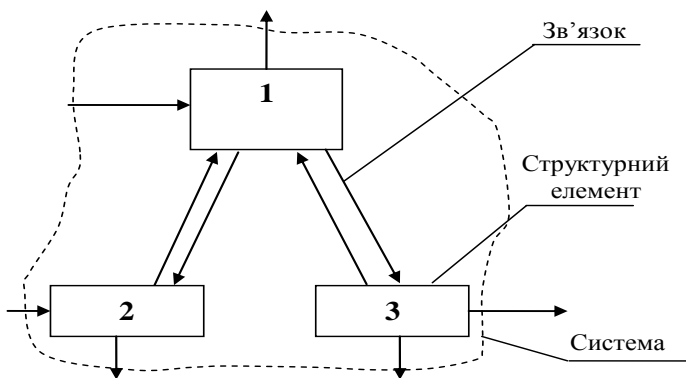


Рис. 3.9. Приклад структурної схеми

Наприклад, при розрахунку механізму не враховуються сили взаємного тяжіння його деталей, хоча згідно закону всесвітнього тяжіння такі сили об'єктивно існують. Але вага деталей (сила їх тяжіння до Землі) враховується обов'язково.

На рис. 3.10 наведена одна з можливих структурних схем цифрового регулятора[26]. Вхідний пристрій *I* являє собою сукупність блоків, призначених для отримання електричних сигналів, пропорційних поточному і заданому значенням регульованої величини, порівняння цих значень і отримання в цифровій формі сигналу помилки: аналогового задачника *AЗ*, блока завдання *БЗ*, блоку відхилення *AB* та *АЦП*. Обчислювальний пристрій *II* являє собою сукупність різних обчислювальних блоків, запам'ятовуюючих елементів і логічних пристроїв, що забезпечують обчислення керувального впливу відповідно до прийнятого закону регулювання. Обчислювальний пристрій містить у собі наступні блоки: регулювання *БР*; цифрових операторів *БЦО*; керування *БК*.

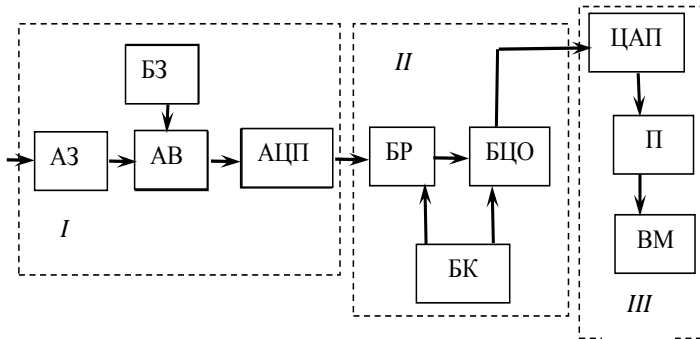


Рис. 3.10. Структурна схема цифрового регулятора

Вихідний пристрій **III** складається з блоків і пристроїв, за допомогою яких здійснюється вплив на регульований об'єкт відповідно до вихідного сигналу обчислювального пристрою. Він містить в собі: цифро-аналоговий перетворювач **ЦАП**, підсилювач **П** і виконавчий механізм **ВМ**.

На рис. 3.11 зображена спрощена структурна схема системи керування висотною будівлею, яка в своєму складі містить багато підсистем: вентиляції, опалення, водопостачання та каналі зації, пожежної безпеки, контролю деформації будівлі, система контролю коливань будівлі тощо.

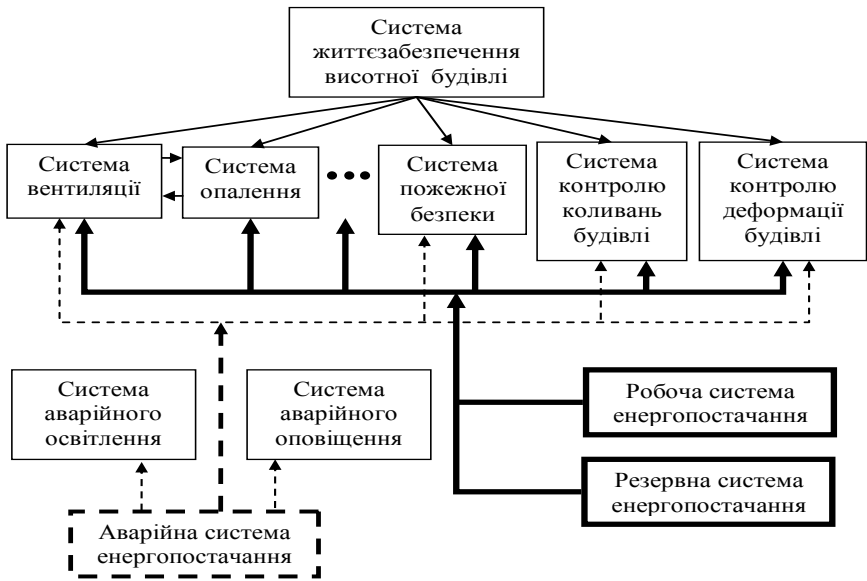


Рис. 3.11. Структурна схема системи життєзабезпечення висотної будівлі

Окремо виділені системи енергопостачання: робоча та резервна, а також аварійна, яка живить найбільш важливі системи (вентиляції, пожежної безпеки та деякі інші) та системи (підсистем) аварійного освітлення та оповіщення.

3.7. Функціональна модель системи

В розділах 3.4 та 3.5 основна увага була приділена статичним моделям, які є, так би мовити, "фотографіями" системи, тобто відображають її в деякий момент часу. Наступний крок в дослідженні систем полягає в тому, щоб зрозуміти та описати, як система "працює", що відбувається з нею та з оточуючим середовищем в ході реалізації поставленої мети – в побудові *динамічних моделей*. Динамічні моделі повинні відображати поведінку системи, зміни в самій системі в часі, послідовність певних етапів, операцій, дій, причинно-наслідкових зв'язків.

Для різних об'єктів и систем розроблена велика кількість ди-

намічних моделей, які описують процеси з ріною степінню деталізації: від найбіль загального поняття динаміки, руху взагалі, формальних математичних моделей конкретних процесів (наприклад, рівняння руху в механіці, квантові рівняння в теорії поля).

Уже на етапі “чорної скрині” розрізняють два типи динаміки систем: її *функціонування* та *розвиток*.

Функціонування – це процеси, які відбуваються в системі (та оточуючому середовищі), яка стабільно реалізує поставлену мету (годинник, міський транспорт, кінотеатр, канцелярія, радіоприймач, верстат, школа).

Розвиток – це те, що відбувається із системою при зміні її цілей. Характерною рисою розвитку є той факт, що існуюча структура перестає відповідати новій меті, і для забезпечення нової функції необхідно змінити структуру, іноді – склад системи, перебудувати всю систему.

Не варто вважати, що система завжди знаходиться або у фазі розвитку, або у фазі функціонування. При реконструкції одного цеху інші підрозділи підприємства функціонують, завод в цілому розвивається. Навіть при коренній перебудові системи певні елементи і навіть підсистеми старої структури можуть функціонувати так, як і раніше. Наступний крок в побудові динамічних моделей полягає в тому, щоб конкретно відобразити зміни, які відбуваються. Це означає, що необхідно розрізнити частини, етапи процесів системи, розглянути їх взаємозв’язки.

Розглянемо динамічну модель “чорної скрині” (рис. 3.11).

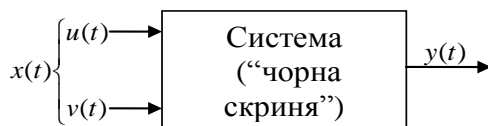


Рис. 3.11. Динамічна модель “чорної скрині”

При математичному моделюванні процесу в подібній системі його конкретна реалізація описується у вигляді відповідностей між елементами можливих значень x множини X та елементами-“моментами часу” t впорядкованої множини T , тобто у вигляді

відображення:

$$T \rightarrow X : x(t) \in X^T, t \in T.$$

Вихід системи $y(t)$ – це реакція системи (може бути також векторним параметром) на керовані $u(t)$ та некеровані $v(t)$ входи $x(t)$:

$$x(t) = \{u(t), v(t)\}.$$

Тоді модель “чорної скрині” можна представити як сукупність двох процесів:

$$\begin{aligned} X^T &= \{x(t)\}; \\ Y^T &= \{y(t)\}. \end{aligned}$$

Якщо вважати $y(t)$ результатом деякого перетворення Φ процесу $x(t)$, то визначення моделі “чорної скрині” означає, що це перетворення невідоме. Якщо ж ми маємо справу з “білою скринією”, то відповідність між входом та виходом можна описати тим чи іншим способом.

Модель "чорного ящика" - це вже структурована модель: в ній про кожен зв'язок із середовищем відомо, чи належить він до числа входів чи є виходом. Однак на ранніх стадіях дослідження системи така інформація може бути відсутньою: ми можемо виділити деяку зв'язок системи з середовищем, можемо навіть спостерігати або вимірювати параметр, що характеризує цей зв'язок, але не мати підстав безумовно говорити про спрямованість зв'язку з цим. У таких випадках іноді корисно розглянути дві конкуруючі моделі "чорної скриньки", в одній з яких цей зв'язок зарахований до входів, а в іншій – до виходів. Прикладом є дослідження зв'язку між двома процесами, коли невідомо, який з них - причина, а який - наслідок, або навіть взагалі, чи є їх зв'язок причинно-наслідковим (тобто можливо, що вони обидва – наслідки певної неспостережної причини).

На рис. 3.12 зображена функціональна схема системи автома-

тичного керування (САК), де позначені блоки: П – підсилювач, ВМ – виконавчий механізм, ОК – об’єкт керування, РП – регулюючий пристрій, ЗЗ – зворотній зв’язок, заданий та вихідний сигнали $g(t)$ та $y(t)$, сигнали похибок $x(t)$ та $\Delta x(t)$.

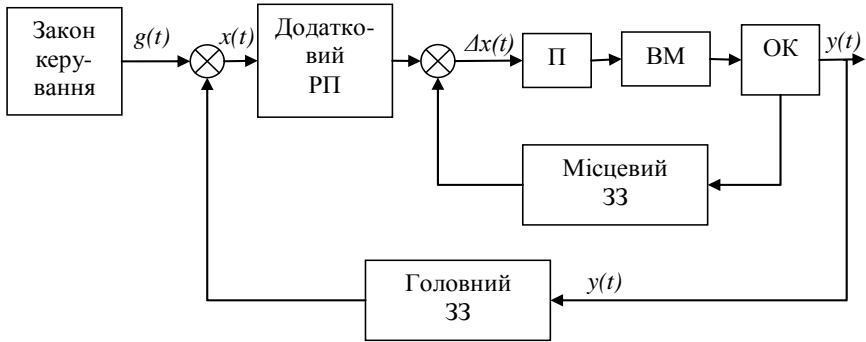


Рис. 3.12. Функціональна схема САК

3.8. Скінченні автомати

Окремий клас систем представляють так звані “*скінченні автомати*”, для дослідження яких достатньо методів логіки та алгебри; в той же час це широкий і практично важливий клас, оскільки в нього входять всі дискретні (цифрові) вимірювальні, керуючі та обчислювальні пристрої. Автомат, зображений на рис. 3.12, функціонує тільки в дискретні моменти часу[13]:

$$x_i \in \{t_0, t_1, \dots, t_p\}.$$

В кожний момент часу t_i автомат знаходиться в певному стані із множини станів автомата S , тобто має певний набір значень:

$$s_i : S = \{s_{1t_i}, s_{2t_i}, \dots, s_{kt_i}, \cdot\}.$$

Тобто станом автомата вважається сукупність станів s .

Оскільки автомат є рекурентною булевою функцією, то залежність значення стану автомата в момент часу t_i від значення стану в момент часу t_{i-1} може інтерпретуватись як наявність у автомата “пам’яті”. Тобто значення стану $s(t_{i-1})$ “запам’ятовується” і зберігається протягом інтервалу часу (t_{i-1}, t) . Цей факт є принциповим у технічних застосуваннях математичної терії скінченних автоматів. Для того, щоб підкреслити, щоб підкреслити наявність пам’яті у автомата, кажуть, що s є стійким станом автомата.



Рис. 3.13. Функціональна структура скінченного автомата

З появою пам’яті в технічних засобах, що реалізують математичну модель “скінченний автомат”, стало можливим виконувати логічні операції послідовно, оскільки інформація може зберігатися в пам’яті і в потрібний момент часу вибиратися звідти для керування операціями комбінаційної логіки. Схем, що працюють таким чином, називаються *послідовними*.

З іншого боку, для керування деякими схемами такого типу використовують періодичні часові сигнали. В цьому випадку схеми називають синхронними, або схемами, що керуються часом. Для керування послідовними схемами можуть використовувати *випадкові події*. Такі схеми називають асинхронними, або схемами, що керовані подіями.

Розглянемо приклад складання автоматного опису технічної системи. Нехай потрібно спроектувати пристрій дискретної дії — автомат керування дорожнім рухом на перехресті доріг А та В (світлофор). Крім ліхтарів індикації світлофора у пристрою ще є кнопка виклику, за допомогою якої пішохід може послати

автомату запит (R) на призупинення руху транспорту. Ця кнопка має пам'ять і її повернення в попередній стан відбувається за сигналом очищення (C), що надходить від автомата. (Зверніть увагу, що ми тут вже ввели дві змінні - R та C).

Автомат має генератор імпульсів (дискретних моментів часу) з періодом в 1 хвилину. Перехід автомата із одного стану в інший може відбуватись тільки в моменти дискретного часу. Автомат виробляє сліпала A, B, P, C, де A, B — дозвіл руху транспорту по вулицях A та B, P — дозвіл руху пішохода по вулиці, C — очищення сигналу вимоги пішохода на перехід.

При відсутності вимог автомат кожену хвилину перемикає сигнали A та B. При наявності вимоги R після закінчення поточного відрізка часу 0,5 хв. автомат перериває послідовність сигналів A, B на 0,5 хв., сигналом P він вмикає знак, який дозволяє перехід пішоходів, і формує сигнал C, після чого поновлює формування перерваної послідовності сигналів A, B. Роботу автомата ілюструє рис. 3.14.

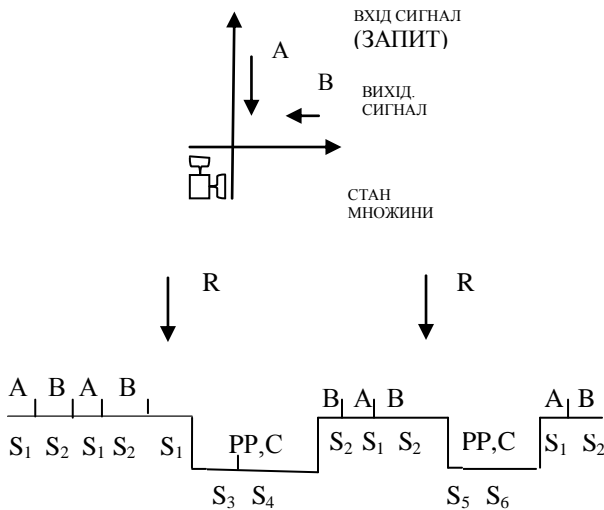


Рис 3.14. Автомат регулювання дорожнього руху: а – схема перехрестя, б – часова діаграма роботи

За заданим описом складемо формальний опис задачі, ввівши до розгляду множини вхідних та вихідних змінних, а також множини станів автомата. Отримаємо: множина вхідних змінних складається тільки з одного елемента $X = \{x1\}$, $x1 \in Я$, яким позначається сигнал запиту R . Вхідна змінна $x1$ може приймати одне з двох значень $x1 = R$ або $x1 = \bar{R}$ що відображають наявність чи відсутність сигналу запиту. Будемо позначати ці значення символами $x11$ та $x10$ відповідно.

Для позначення стану автомата в даному прикладі зручно ввести одну змінну s , що приймає одне з шести значень:

$S1$ - увімкнено сигнал A ;

$S2$ - увімкнено сигнал B ;

$S3$ - увімкнено сигнал P , якщо перед цим було включено сигнал A ;

$S4$ - увімкнено сигнал C ;

$S5$ - увімкнено сигнал P , якщо перед цим було включено сигнал B ;

$S6$ - увімкнено сигнал C .

Стани відрізняються один від одного відповідними вихідними сигналами та реакцією на вхідні сигнали (звернемо увагу, що в даному прикладі ми станом називаємо, фактично, значення однієї змінної стану). Введені стани відображають всі можливі комбінації значень вхідних та вихідних змінних

Множина вихідних змінних може бути представлена однією змінною, що приймає чотири значення: $y1$ — увімкнено сигнал A , $y2$ — увімкнено сигнал B , $y3$ — увімкнено сигнал P , $y4$ — увімкнено сигнал P і потім сигнал C . В іншому варіанті множина вихідних змінних може представлятись чотирма булевими змінними з відповідними (вказаними вище) позначеннями.

3.9. Графові моделі системи

Всі структурні схеми мають дещо спільне, і це спонукало математиків розглядати їх особливий об'єкт математичних досліджень. При цьому довелось абстрагуватись від змістовної сторони структурних схем, залишивши в моделі, яка розглядається, тільки те, що є спільним для кожної схеми. В результаті отримали схему, в якій позначаються тільки наявність елементів та

зв'язків між ними, а також (у випадку необхідності) різниця між елементами та між зв'язками. Така схема називається **графом**.

Таким чином, граф є формою представлення структури системи і складається з позначень елементів довільної природи, які називаються *вершинами* та позначень зв'язків між ними, які називаються *ребрами* (дугами). Якщо необхідно відобразити несиметричність зв'язків, то до лінії, яка зображує ребро, додають стрілку. Якщо зв'язки не мають напрямків, то граф називається *неорієнтованим*, а при наявності стрілок – *орієнтованим* (повністю або частково). Пара вершин може бути з'єднана будь-якою кількістю ребер; вершина може бути з'єднана сама із собою, таке ребро називається *петлею* (рис. 3.11).

Якщо в графі необхідно відобразити інші відмінності між елементами та зв'язками, то різним ребрам відповідають різні ваги (*зважені графи*), або розфарбовують вершини або ребра (*розфарбовані графи*).

Наведемо ще кілька визначень, які часто використовуються при розв'язанні задач за допомогою теорії графів.

Вага ребра — значення, поставлено у відповідність даному ребру зваженого графа. Зазвичай вага — дійсне число, в такому випадку його можна інтерпретувати як «довжину» ребра.

Відстань між двома вершинами графа — найменша довжина шляху, що з'єднує ці вершини.

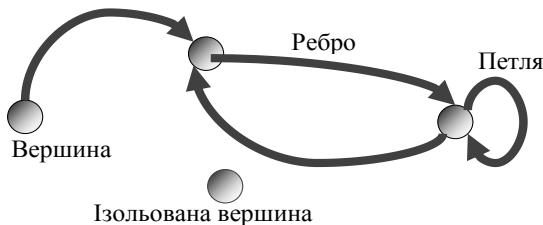


Рис. 3.11. Приклад графа

Впорядкований граф — граф, в якому ребра, що виходять з кожної вершини, однозначно пронумеровані, починаючи з 1. Ребра вважаються впорядкованими в порядку зростання номе-

рів. При графічному представленні часто ребра вважаються впорядкованими в порядку певного стандартного обходу (наприклад, проти годинникової стрілки).

Змішаний граф — граф, що містить як орієнтовані, так і неорієнтовані ребра.

Зв'язний граф — граф, в якому всі вершини зв'язані.

Гамільтонів граф — граф, в якому є гамільтонів цикл.

Простий граф — граф, в якому немає кратних ребер і петель.

Підграф графа G_A - граф, в який входить лише частина вершин графа G , які утворюють множинку A , разом з дугами, які з'єднують ці вершини.

Довжина шляху — кількість дуг шляху (або сума довжин його дуг, якщо останні задані). Так для шляху v_1, v_2, \dots, v_n довжина дорівнює $(n-1)$.

Гамільтонів цикл — простий цикл в графі, що містить всі вершини графа точно по одному разу.

Гамільтонів шлях — простий шлях в графі, що містить всі вершини графа точно по одному разу.

Простий ланцюг — маршрут, в якому всі вершини різні.

У зв'язку з тим, що множини вершин та ребер формально можна міняти місцями, отримують два різних представлення системи у вигляді *вершинного* або *реберного* графів. Тобто для одних задач більш зручно використовувати вершинний, а для інших – реберний граф.

Визначення графу є настільки загальним, що цим терміном можна описувати безліч подій та об'єктів повсякденного життя. Високий рівень абстракції та узагальнення дозволяє використовувати типові алгоритми теорії графів для вирішення зовнішньо несхожих задач у транспортних і комп'ютерних мережах, будівельному проектуванні, молекулярному моделюванні, кіберетиці, теорії ігор, теорії алгоритмів, теорії автоматів тощо[11]. Різноманітні задачі цієї теорії пов'язані з різними перетвореннями графів, а також із аналізом різних відношень на графах: рангів, кольорів, ваг, ймовірнісних характеристик (стохастичні графи) тощо.

Так, загальновідома задача про сім мостів м.Кенігсберга, яка

формулюється таким чином: як пройти по кожному з мостів, при цьому не пройти двічі по жодному з мостів. У 1736 році цю задачу розв'язав російський математик Леонард Ейлер (він математично довів, що це неможливо).

Інша задача – про чотири форби – формулюється таким чином: чи можливо будь-яку розташовану на сфері карту розфарбувати лише чотирма фарбами так, щоб будь-які дві області, які мають спільний кордон, були розфарбовані в різні кольори.

Теорія графів дозволяє розв'язувати транспортну задачу — задачу про оптимальний план перевезення товарів із пунктів відправлення до пунктів споживання. Розробка і використання оптимальних схем вантажних потоків дозволяють знизити витрати на перевезення.

В організаційних системах часто використовують *лінійні, деревоподібні (ієрархічні)* та *матрічні* структури, в технічних системах часто зустрічаються *мережеві структури* та структури із зворотніми зв'язками. Так, на рис. 3.12,а показана мережева структура, яка є декомпозицією системи у часі. Такі структури можуть відображати порядок дії технічної системи (телефонна, електрична мережа тощо). При аналізі, наприклад, електричних схем, використовують методи контурних струмів, вузлових потенціалів, накладання.

Ієрархічні структури – це декомпозиція структури в просторі. Всі компоненти (вершини, вузли) та зв'язки (дуги, з'єднання вузлів) існують в цих структурах одночасно (не рознесені в часі). Такі структури можуть мати не два (як для спрощення показано на рис. 3.12, б і в), а більшу кількість рівнів декомпозиції.

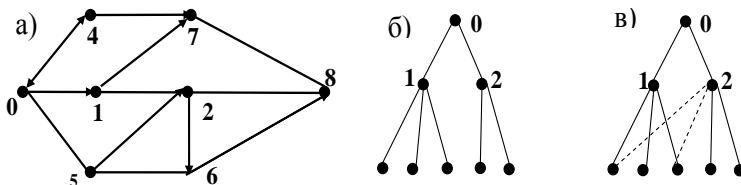


Рис. 3.12. Типи графових структур систем

Структури типу, зображеного на рис. 3.12,б, в яких кожен елемент нижнього рівня підпорядкований одному вузлу (одній вершині) верхнього рівня, називають деревоподібними структурами. Структури типу, зображеного на рис. 3.12,в, в яких елемент нижнього рівня може бути підпорядкований двом і більше вузлам вищого рівня, називають структурами із слабкими зв'язками,

Як приклад використання графів для моделювання динаміки систем можна навести виробництва, на яких широко використовують так звані “мережеві графіки” – графи, які мають мережеву структуру; вершинами графів позначаються виробничі операції, а ребра вказують, які операції не можуть розпочатися, поки не закінчаться попередні. В цьому випадку шляхом задання довжин або ваг ребер зображається тривалість виконання операцій, що дозволяє знаходити в графі “критичні” шляхи, тобто послідовність операцій, від яких головним чином залежить ритмічність всієї роботи.

Якщо, наприклад, порівняти схеми, зображені на рис. 3.13,а та 3.13,б, то можна легко виявити аналогію між схемою системи керування із зворотнім зв'язком і графом, який побудований відповідно до цієї схеми.

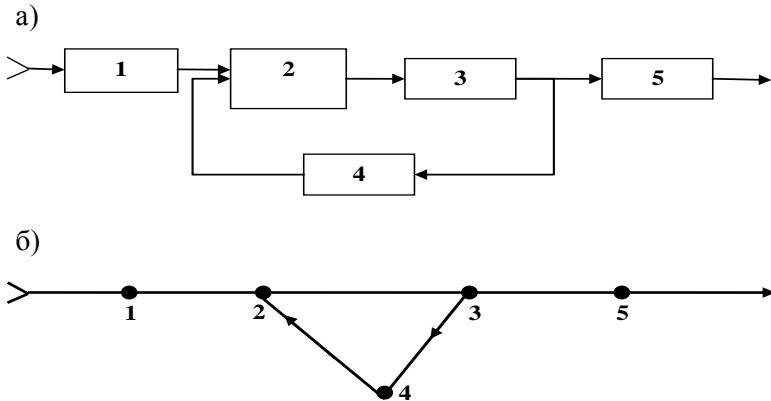


Рис. 3.13. Структурна та графова моделі системи

При цьому блоки відповідають вершинам графа, а вершини позначають відношення перетворень. Другим елементом графів

є ребра. На рис. 3.13,а ребра позначають відношення зв'язків.

Найбільш розповсюдженими є деревоподібні ієрархічні структури, за допомогою яких представляють конструкції складних технічних виробів та комплексів, структури класифікаторів та словників, цілей та функцій, виробничі та організаційні структури підприємств.

Ієрархічні структури із слабкими зв'язками застосовують в тих випадках, коли цілі сформульовані занадто близько до ідеальних уявлень і недостатньо засобів для їх реалізації, для представлення деяких видів організаційних структур (лінійно – функціональні структури, вертикальні зв'язки в структурі управління державою).

Сітка Петрі

Сітка Петрі – це графічний і математичний засіб моделювання систем та процесів. Зазвичай сітками Петрі моделюють асинхронні паралельні системи та процеси. Спочатку запропоновані в докторській дисертації Карла Петрі 1962 року вони набули подальшого розвинення у роботах таких вчених як Т.Мурата, К.Йенсен, В.Котов, А.Слепцов. Галузі застосовування сіток Петрі включають дослідження телекомунікаційних мереж, мережних протоколів, обчислювальних систем та обчислювальних процесів, виробничих та організаційних систем.

Доволі представницьким є набір реальних проектів, у яких використано моделювальну систему розфарбованих сіток Петрі Design/CPN: проектування інтелектуальних мереж Deutsche Telekom; проектування системи керування мережею в RC International A/S; проектування архітектури нових мобільних телефонів Nokia; система електронних платежів у США; сховище електронних документів Bull AG; система безпеки й контролю доступу Dalcotech A/S; європейська система керування рухом потягів; планування операцій у військово-повітряних силах США; військово-морська командна система в Канаді.

Елементами сітки Петрі є позиція, перехід, дуга й фішка, які мають графічні подання, зображені на рис. 3.14:

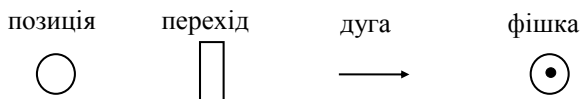


Рис. 3.14. Елементи сітки Петрі

Дуги поєднують вершини протилежних типів: позицію з переходом та перехід з позицією; фішки перебувають усередині позицій і переміщуються сіткою внаслідок спрацьовування переходів. Перехід дозволено (збуджено), якщо всі його вхідні позиції мають фішки:

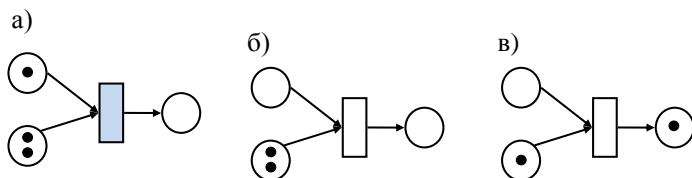


Рис. 3.15. Переходи сітки Петрі: а) перехід дозволено, б) перехід не дозволено, в) після спрацьовування

Спрацьовує довільний перехід з множини дозволених. При спрацьовуванні перехід вилучає фішки зі своїх вхідних позицій і розміщує фішки у свої вихідні позиції. Спрацьовування переходу відбувається миттєво. З множини дозволених спрацьовує лише один перехід, обраний довільно. Це зумовлює недетермінований характер поведження сітки. Отже, сітка Петрі описує безліч різних припустимих варіантів поведження модельованих систем та процесів.

Відзначимо також, що недетермінованість поведження може подавати як паралелізм, так і конфлікти (альтернативи). Приклад сітки Петрі зображено на рис. 3.15.

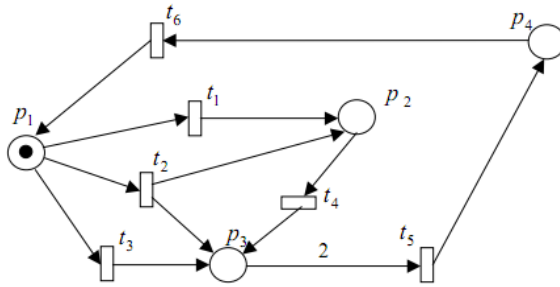


Рис. 3.15. Приклад сітки Петрі

Для моделювання реальних об'єктів буває зручно використувати кратні дуги, для яких умова спрацьовування має виконуватися по кожному екземплярові дуги. Графічно, як правило, зображують одну дугу, надписуючи над нею її кратність (рис. 3.16):

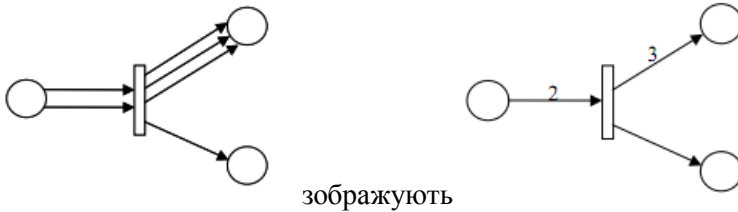


Рис. 3.16. Переходи з дугами різної кратності

Спрацьовування переходу відбувається в такий спосіб:

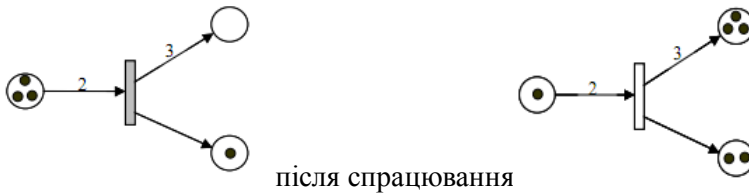


Рис. 3.17. Спрацювання переходу з дугами різної кратності

Процес функціонування сітки Петрі може бути наочно подано графом досяжних станів. Стан сітки однозначно визначається її маркуванням – розподілом фішок по позиціях. Вершинами графа є припустимі маркування сітки Петрі, дуги позначено символом опрацьовуваного переходу. Дуга будується для кожного збудженого переходу. Побудова припиняється, коли ми одержуємо маркування, в якому не збуджено жодного з переходів, або маркування, які містяться в графі. Відзначимо, що граф досяжних маркувань являє собою автомат. На рис. 3.18 подано граф досяжних маркувань сітки Петрі, зображеної на рис. 3.15.

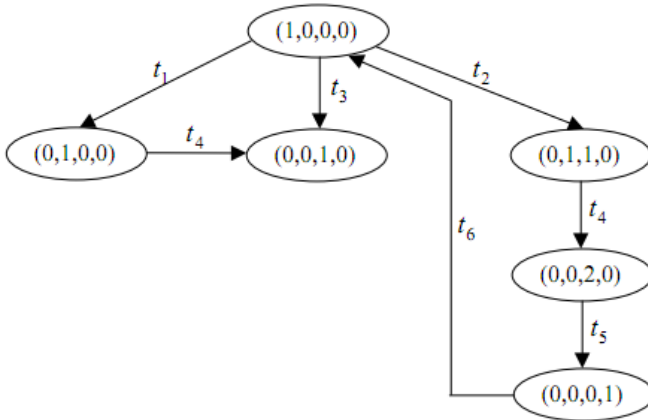


Рис. 3.18. Граф досяжних маркувань сітки Петрі

Розглянемо приклад конкретної моделі, поданий сітками Петрі.

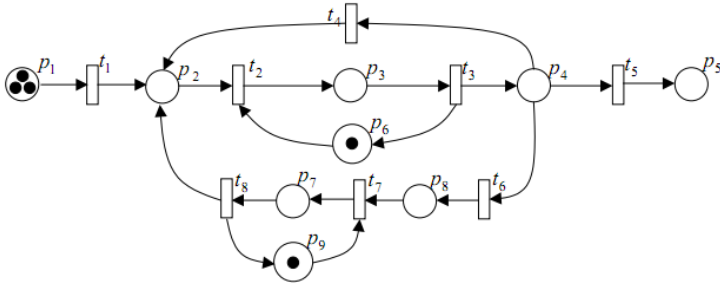


Рис. 3.19. Модель обчислювальної системи

У моделі обчислювальної системи, зображеної рис. 3.19, позиція p_6 , наприклад, моделює процесор, позиція p_9 – накопичувач на магнітних дисках, позиції p_1 та p_5 – вхідну й вихідну черги завдань відповідно; перехід p_4 відповідає завершенню кванта часу.

3.10. Приклади використання імітаційного (комп'ютерного) моделювання

Підйом атомної підводного човна “Курськ”

12 серпня, 7 років тому під час навчань Північного флоту в Баренцовому морі затонув АПЧ “Курськ”. При цьому загинув весь екіпаж підводного човна, що складався з 118 чоловік. Експерти вважали, що реактори були сильно ушкоджені в результаті серії вибухів в першому відсіку “Курська”, що відбулися під час аварії. Вибухова хвиля, потужність якої еквівалентна двом тоннам тротилу, мала послабити конструкційну цілісність реакторів. Перший вибух, зареєстрований сейсмологами, швидше за все, стався в першому, торпедному відсіку під час навчальних стрільб. У свою чергу, він став причиною другої різкої вибухової хвилі, що прокотилася по обмеженому простору субмарини. Експерти вважали, що реактори знаходяться в стабільному стані, але ситуація може змінитися в гіршу сторону через ослаблення конструкції човна і

природної корозії...

Модель підводного човна

Після дослідження місця загибелі за допомогою водолазів та дистанційно-керованих апаратів стало ясно, що всередині підводного човна є великі руйнування. Не було впевненості, що вони з'явилися в результаті вибуху, який стався, коли човен перебував на відносно невеликій глибині (108 метрів) Баренцова моря і брала участь у навчаннях. Однак той факт, що вона зарилася на кілька футів в пісок, говорив про величезну силу удару корпусу про дно моря [29].

Внаслідок нестійкості ситуації було дуже важливо детально спланувати всю операцію з підйому субмарини, щоб запобігти її подальшому руйнуванню. Підйом такого великого судна, за розмірами вдвічі більшого, ніж літак “Боїнг-747”, являв собою грандіозну проблему. Тому за запитом компанії Halliburton Subsea, головного члена міжнародного консорціуму, що займається підйомом судів, компанією AGS of Horten (Норвегія) були розроблені тривимірні анімаційні моделі. З їх допомогою була віртуально перевірена і скоригована вся операція з підйому “Курська”. Компанія AGS використовувала програмне забезпечення Inventor компанії Autodesk і в першу чергу створила детальну тривимірну модель “Курська” на підставі документів, наданих російським заводом, побудував цю підводний човен у 1994 році. Слід зазначити, що процедура передачі креслень для російської сторони була непростою справою. З метою збереження військових секретів російський уряд зажадало від усіх організацій, що отримали доступ до проектної документації, підписати договір про нерозголошення зазначених відомостей.

Спочатку AGS будувала модель на підставі креслень, але пізніше, після отримання документації в електронному вигляді, яка містить більш точні розміри, модель була перероблена. Фахівцям AGS не вдалося відразу відтворити точну модель судна, але в подальшому, отримавши креслення від російської сторони, вони просто змінювали значення параметрів і програмне забезпечення автоматично перебудовує геометрію існуючої моделі. Маючи в своєму розпорядженні точні розміри, фахівці компанії все ще відчували певні труднощі при моделюванні складної

криволінійної форми корпусу.

Дійсно, тривимірне моделювання всієї конструкції підводного човна являє собою досить складну задачу. Конструкція складається з двох оболонок, внутрішньої і зовнішньої, розділених простором в 3 фути. У зв'язку з великою складністю конструкції потрібно було введення значної кількості інформації у віртуальну модель. На першому етапі група розробників не моделювала внутрішню інфраструктуру підводного човна.

Віртуальне моделювання операції

Додатково до моделі “Курська” компанія AGS створила віртуальні копії крана для підйому підводного човна і баржі, яка була повинна після підйому відтранспортувати човен до берега. Також була розроблена модель судна з водолазами, яке б контролювало проведення операції. Всі ці моделі були необхідні для подання взаємодії між кораблями в процесі роботи.

На думку експертів компанії Halliburton, над затонулою човном необхідно було розмістити гігантську баржу компанії Smith International, перебудовану спеціальним чином. Потім слід було найняти найбільше судно з краном в компанії Heerema Marine Contractor і піднімати “Курськ” с допомогою тросів, приєднаних до спеціально виготовлених причепів на ребрах жорсткості корпусу. Кран вантажопідйомністю 16 тис. тонн не був здатний підняти “Курськ” вагою 18 тис. тонн і довжиною 154 метри. Передбачалося, що він підтягне підводний човен до дна баржі, до якої потім вона буде прикріплена і відбуксирована до порту Мурманськ.

До початку роботи компанії AGS з імітації описаної вище операції інженери з Halliburton експортували тривимірну модель підводного човна в програму кінцево-елементного аналізу компанії Ansys, щоб перевірити свою ідею схеми з підйому на комп'ютерній моделі конструкції. За допомогою програмного забезпечення інженери розраховували зусилля, які при підйомі будуть включені до конструкції, і допустиме навантаження на підйомні механізми. Ця інформація потім за допомогою програми Inventor була введена в модель, що використовувалася при віртуальному відтворенні операції. Далі моделі всіх судів, які брали участь у рятувальній операції, імпортували з Inventor у

анімаційне програмне забезпечення 3ds max компанії Discreet. Віртуальне середовище дозволило інженерам визначити місця кріплення причепів з урахуванням доданих до корпусу навантажень, а також впливу морської течії на судно з краном і на сам об'єкт.

Після визначення оптимальних місць для розміщення причепів в цих точках моделювалися отвори, які повинні були вирізатися, і потім прикріплялися спеціально розроблені причепи. Моделювання показало, що при проведенні робіт відсутня небезпека зіткнення з корпусом підводного човна, в якому розміщені два атомні реактори. Завдяки анімації компанія AGS змоделювала відрізання і підйом пошкодженої носової секції. Під час підготовчої стадії проведення операції в модель, що відтворювала хід робіт, постійно вносилися зміни.

Комп'ютерне моделювання таких складних операцій має величезну цінність, особливо коли роботи ведуться на значній відстані від берега і на великій глибині, де істотно зростає фактор кваліфікації фахівців. Метод натурного моделювання, часто вживаний нафтовими компаніями, що ведуть підводний видобуток нафти, є дуже дорогим. За допомогою віртуального управління цими процесами компанії виграють як час, так і гроші. Тобто, якщо б не було 3D-моделювання, інженерам довелося б створити мініатюрну фізичну модель і піддати її випробування в басейні з морською водою. Це рішення є дуже витратним, що вимагає багато часу, і крім того, є менш точним.

Аварія на Чорнобильській АЕС

Необхідність комп'ютерного моделювання при аналізі і прогнозі ситуації на ЧАЕС

Використання методів тривимірного моделювання (3D-моделювання) в сукупності з геоінформаційним аналізом, яке ґрунтується на даних про стан конструкцій об'єкта Укриття та ЧАЕС, а також на різноманітних даних про радіаційні параметри навколишнього середовища (зовнішньої і внутрішньої) цих об'єктів, забезпечує [29]:

- високий ступінь автоматизації, яка ґрунтується на існуючому банку (цифрових графічних, географічних і т.д.)

даних;

- системний підхід до візуалізації та аналізу стану об'єкта Укриття;

- створення різноманітних прогностичних моделей розвитку надзвичайних ситуацій на об'єкті Укриття та ЧАЕС при аналізі протікання аварій за різними, модельованими, сценаріями;

- інтерактивність, оперативність та багатоваріантність моделювання станів радіаційно-небезпечних систем, здатних впливати на стан природного середовища, персонал і населення;

- створення нових видів графічних схем, карт, 3Д-моделей об'єкта Укриття (ЧАЕС), в сукупності з можливістю їх переміщення у просторі та часі (віртуальному) дозволяють створити різнопланові багаторакурсні зображення досліджуваних систем і процесів.

Актуальним завданням тривимірного моделювання, є розробка та створення електронних моделей проблемно-практичної орієнтації з широкими можливостями оперативної обробки інформації, які спрямовані на забезпечення прийняття конкретних управлінських рішень при експлуатації ядерно-та радіаційно-небезпечних об'єктів, як на ЧАЕС, так і в зоні відчуження. На рис. 3.4 зображено комп'ютерна модель зовнішнього вигляду реактора.



Рис. 3.4.Зовнішній вигляд реактора

Практичні результати моделювання ЧАЕС і об'єкта укриття

3Д-моделювання є потужним засобом аналізу і наочного представлення просторових даних. Підготовлена тематична 3-Д модель дозволяє легко зрозуміти зв'язки між різними об'єктами і побачити тенденції в розвитку різних явищ або дозволяє оцінити поточний стан об'єкта аналізу. Суворе і досить точне рішення задачі відображення різної інформації в інформаційних системах залежить від координатної середовища, адекватно пристосованої до умов розв'язуваної задачі і забезпечує мінімально можливі спотворення цієї інформації.

Таким чином, повна адекватність віртуальних моделей об'єкта Укриття, реальними параметрами навколишнього середовища біля цього об'єкта дозволило виконати моделювання потужності експозиційної дози в місцях роботи персоналу зайнятого на будівництві Нового Безпечного Конфайнменту (Арки). На рис. 3.5 зображена 3Д-модель ЧАЕС із саркофагом (співвідношення всіх розмірів збережені). Найважливішим результатом такого моделювання є не стільки сама візуалізація, скільки можливість проведення розрахунків доз опроміненень персоналу, який буде зайнятий на будівництві НБК на кожному, окремому робочому місці.



Рис.3.5. ЧАЕС і саркофаг в 3Д моделях

Використовуючи дану модель розрахунку стає можливим проведення оцінок загальних трудових дозовитрат, які необхідні про проведення будівельно-монтажних та інших видів робіт у зоні впливу радіаційного поля Саркофага.

Була створена модель розрахунку зовнішнього опромінення окремо взятого працівника, що рухається з певною швидкістю по певному маршруту в локальній зоні об'єкту Укриття. Такий розрахунок дозволяє оцінити дози зовнішнього опромінення для кожного будівельника з прийнятними рівнями достовірності. Адекватність отриманих результатів розрахунків була підтверджена тим, що величини колективних доз, отримані розрахунковим шляхом при проектуванні робіт по стабілізації об'єкту Укриття (виконані колективом ІПБ АЕС), співпали з фактичними дозовими навантаженнями, які отримали будівельники зайняті на роботах по стабілізації.

Ще одним практичним застосуванням тривимірного моделювання інституту в рамках робіт з перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно-безпечну систему, був розрахунок і візуалізація просторових даних гамма-випромінювання для майданчика бу-

дівництва Арки. Також були створені просторові моделі кутових та енергетичних полів гамма-фону в передбачуваних зонах виробництва робіт зі створення конфайнмета.

Проведені дослідження дозволили встановити основні джерела випромінювання формують гамма-фон в місці будівництва Арки. На підставі виконаних досліджень вченими запропоновані заходи щодо захисту (екранування) робочих місць персоналу, який буде зайнятий на будівництві Арки від впливу джерел іонізуючого випромінювання.

На рис. 3.7 подані результати комп'ютерного моделювання руху супутника у випадку, коли супутник по двом осям відхиляється на величини, які перевищують дозволені межі, а по третій осі супутник коливається в допустимому «коридорі» значень.

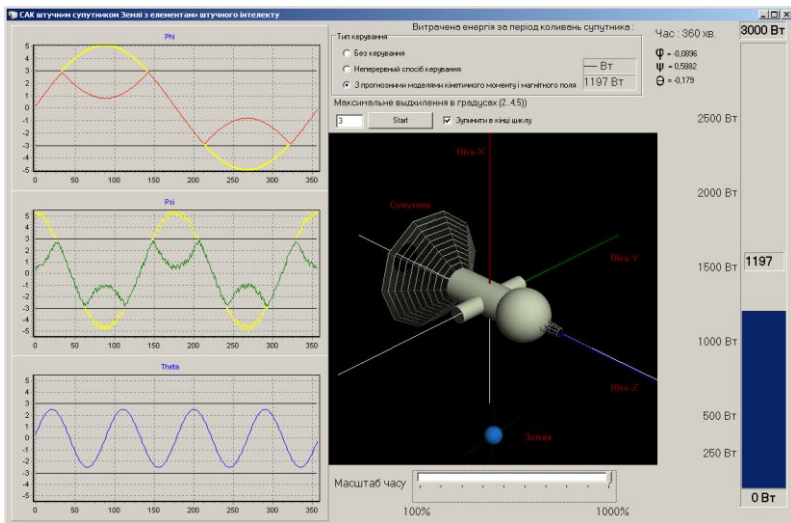


Рис. 3.7. Спосіб керування орієнтацією супутника з прогнозними моделями по двом осям

Це моделювання – імітаційна реалізація способу орієнтації штуч-

ного супутника Землі з елементами штучного інтелекту, який запропонований та запатентований д.т.н.наук, проф. Б.Б.Самотокиним та автором даного підручника).

Цю ж задачу можна вирішити за допомогою пакету Samulink системи MatLab. Цей пакет містить бібліотеку Aerospace Blockset, що має вбудовані блоки, які дозволяють моделювати систему орієнтації супутника, змінювати збурення, робити візуалізацію відхилень контрольованих параметрів тощо. На рис. 3.7. показані результати моделювання руху штучного супутника Землі за допомогою бібліотеки Aerospace. В якості моделі можна використовувати кутовий рух супутника, що виражається або через кути Ейлера-Крилова, або через кватерніон повороту.

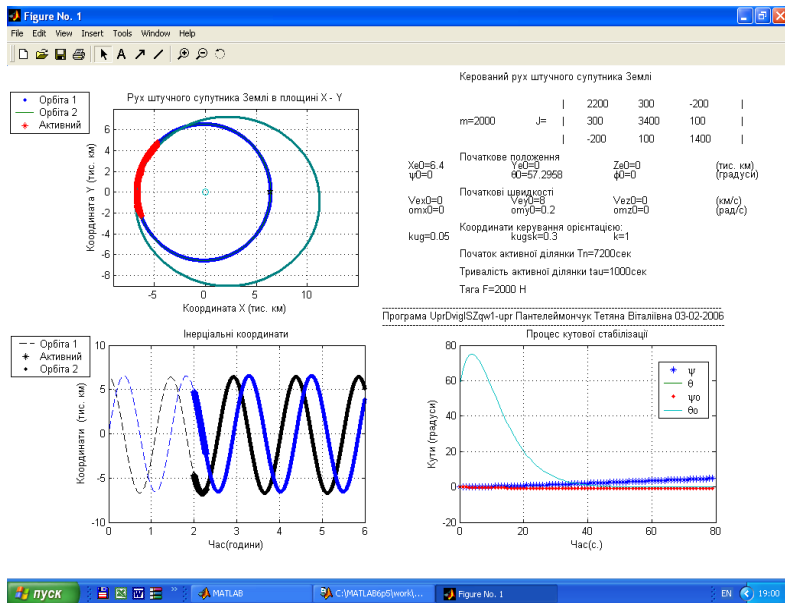


Рис. 3.8. Результати моделювання руху штучного супутника Землі .

Можливості пакету Simulink дозволяють задавати різні збурюючі сили та моменти, що діють на супутник, моделювати режими руху супутника, які дозволяють виконувати поставлені пе-

ред супутником науково-технічні завдання.

3.11. Основні методології опису виробничих процесів

3.11.1. Загальні відомості про методології моделювання

На сьогоднішній день використовується декілька методологій опису виробничих процесів. До найбільш розповсюджених відносяться методології моделювання так званих *бізнес-процесів* (Business Process Modeling), (Work Flow Modeling), методології опису потоків робіт та методології опису потоків даних (Data Flow Modeling). На рис. 3.9 зображені методології опису виробничих процесів підприємства: UML, IDEF0, IDEF3, DFD, блок-схеми, різні різновиди нотації ARIS[21].

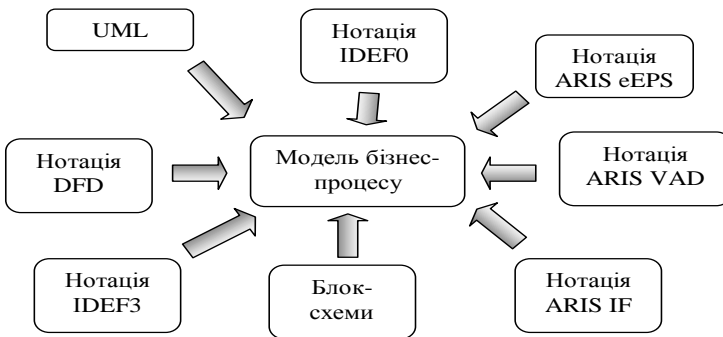


Рис. 3.9. Методології опису бізнес-процесів

Бізнес-процес (БП) – це стійка, цілеспрямована сукупність взаємо-зв’язаних видів діяльності, яка по певній технології перетворює входи у виходи, які мають цінність для споживача. Таким чином, будь який процес: виробничий (виробництво продукції з подальшим продажем), комерційний (процеси в торгівлі), фінансові (надання позик і кредитів населенню) є бізнес-процесом

3.11.2. Нотація IDEF0

Найбільш широко використовується така методологія опису виробничих процесів (бізнес-процесів) як стандарт США **IDEF0** [21]. Такий підхід був розроблений на основі методології структурного аналізу та проектування SADT. Методологія IDEF0 надає аналітику достатні можливості для опису процесів організації на верхньому рівні з акцентом на керуванні процесами. Нотація дозволяє відображати в моделі процесу зворотні зв'язки різного типу: по інформації, по керуванню, рух матеріальних ресурсів.

Основним об'єктом в нотації IDEF0 є об'єкт *Activity* (рис. 3.10). Графічно це – чотирикутник, що відображає функції, які виконуються в організації. Іншою складовою стандарту IDEF0 є *стрілки*. Стрілки, які входять в функцію зліва, використовуються для опису вхідних потоків матеріальних ресурсів, інформації, документів.

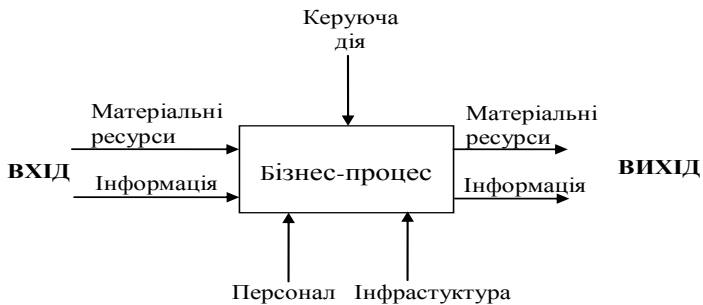


Рис. 3.10. Формування моделі виробничого процесу на верхньому рівні

Вхідні потоки перетворюються функцією (роботою, процесом). Результатом такого перетворення суть вихідні потоки матеріальних ресурсів та інформації (показуються стрілками, що виходять з правого боку блоку). Для виконання будь-якої роботи необхідні основні засоби, інструменти, персонал, програмні продукти тощо. Ці ресурси відображені стрілками, що входять в блок знизу. Керучі дії (усне розпорядження керівника, нормативний документ, держані і галузеві стандарти, технічні умови тощо).

Необхідно підкреслити, що необхідно суворо притримуватись порядку відображення стрілок при формуванні моделі. Кожна сторона трикутника відображає визначає тип стрілки. Ці правила не можна порушувати. На рис. 3.11 зображений один із етапів формування моделі виробничого процесу.

Для блоку **A2** керуючими діями (на рис. 3.11 не показані) будуть вимоги клієнтів, державні стандарти, норми на витрату матеріалу тощо. Сигнал **P** – план відвантаження готової продукції, який з виходу блоку **A1** поступає на вхід блоків **A2** та **A3**.

При декомпозиції БП в нотції IDEF0 дотримуються правил *мігрування* і *тунелювання* стрілок. Це означає, що на діаграмах верхнього рівня ми узагальнено відображаємо потоки ресурсів, а при деком-позиції ми відображаємо потоки більш детально, при цьому додаються нові стрілки, а старі залишаються. До недоліків цієї нотації можна віднести складність сприй-няття схем процесів співробітниками, особливо керівниками.

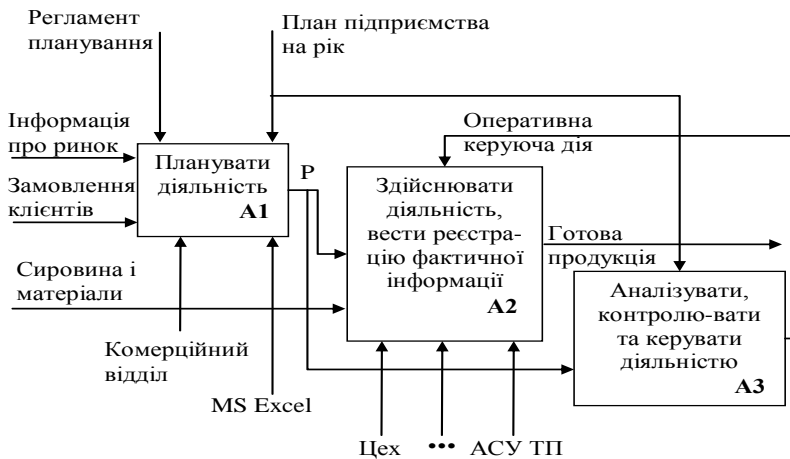


Рис. 3.11. Один із етапів формування моделі виробничого процесу

Окрім цього, при застосуванні методології IDEF0 складно узгоджувати між собою моделі декількох процесів (наприклад, збут та виробництво) при необхідності створення окремих

моделей для кожного з цих процесів. Але цей недолік усувається шляхом по-передніх домовленостей по правила моделювання.

3.11.3. Нотація IDEF3

Нотація IDEF3 є іншою важливою (після IDEF0) методологією і призначена для опису потоків робіт (*Work Flow Modeling*). IDEF3 широко використовується для створення моделей бізнес-процесів організації на нижньому рівні, при формалізації робіт, які виконуються в підрозділах та на робочих місцях. Для створення моделей в цій нотації використовуються логічні операції. Так, на рис. 3.12 зображена модель процесу з логічним оператором “Г”.

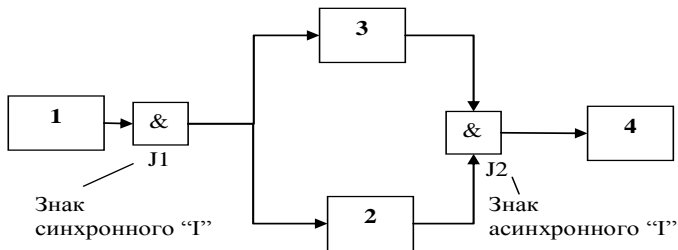


Рис. 3.12. Модель процесу з логічним “Г”

Виконання функцій (2) та (3) повинно розпочатись одночасно після завершення функції (1) – на рисунку показаний знак синхронного “Г”. Знак асинхронного “Г” означає, що виконання функцій (2) та (3) може закінчитись неодноразовно, при цьому виконання функції (4) не розпочнеться, поки не виконані функції (2) та (3).

Можливий варіант декомпозиції функції “Виконати підготовку виробництва” показаний на рис. 3.13. На відміну від нотації IDEF0 в IDEF3 не використовують різні боки чотирикутника для прив’язки входів різного типу. Окрім цього, в чотирикутник може входити і виходити з нього тільки одна стрілка.

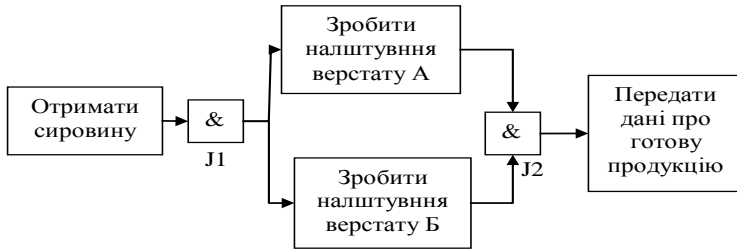


Рис. 3.13. Декомпозиція функції “Виконти підготовку виробництва”

При декомпозиції процесів в IDEF3 не відбувається мігрування та тунелювання стрілок. Аналітик повинен сам потурбуватися про зв'язність моделювання процесу і коректність декомпозиції.

3.11.4. Нотація DFD

Одним із найважливішим засобом опису діяльності є діаграма потоків даних DFD (Data Flow Diagram). Подібні діаграми містять, як правило, два графічних об'єкта: чотирикутники та стрілки. Чотирикутники описують функції (роботи, процеси), стрілки – потоки даних між цими функціями. Приклад найпростішої діаграми в форматі DFD зображений на рис. 3.14.

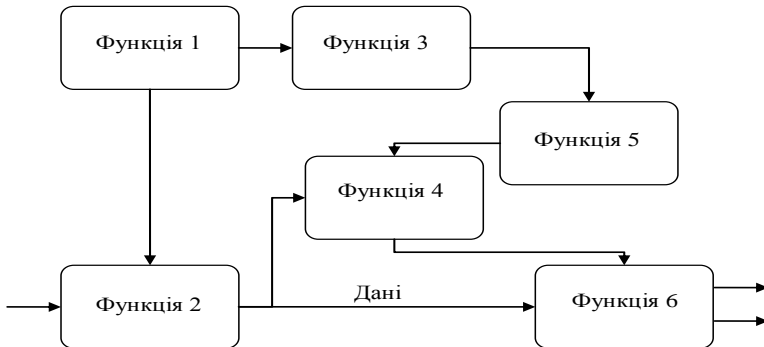


Рис. 3.14. Приклад простої моделі потоків даних

На діаграмі DFD функції розташовуються, зазвичай, зліва направо в порядку, який відповідає послідовності їх виконання в часі, хоча це не є обов'язковим. Якщо притримуватись цієї вимоги, то отримаємо схему, подібну з описом процесу в нотації IDEF3. Тобто до опису процесів в DFD можна застосовувати правила декомпозиції. Що стосується сторін чотирикутника, то в даній нотації вони не мають такого принципового значення, як в IDEF0.

В кожному великому підрозділі (наприклад, відділі збуту великого підприємства) виконуються різні бізнес-процеси. Часто ці процеси мають різних внутрішніх та зовнішніх клієнтів. Саме у цих випадках доцільно використовувати нотацію DFD. Приклад опису процесу можна складними, якщо використати термін “сховище даних” (паперовий документ, електронний файл, промислової базу даних на сервері організації. При побудові моделі процесу з використанням сховища даних необхідно пам'ятати, що дані (інформація) не можуть переміщатися між функціями самі по собі. Їх можна передавати тільки через посередників – носіїв інформації, або, сховища даних. Приклад моделі процесу в нотації DFD наведений на рис. 3.15.

Підсумовуючи вищесказане, можна сказати, що нотацію DFD використовують для опису реально існуючих в організації потоків даних. Описи можуть створюватись як по процесним, так і по функціональним ознакам. В першому випадку ми отримуємо моделі бізнес-процесів в форматі DFD, в іншому – схему обміну даними між підрозділами. Отримані моделі потоків даних організації можуть бути використані при розв'язанні таких задач, як:

- визначення існуючих сховищ даних, Система управління базами даних – СУБД)
- визначення та аналіз даних, необхідних для виконання кожної функції процес;
- підготовка до створення моделі структури даних організації, так званої ERD-моделі;
- виділення основних та допоміжних бізнес-процесів організації.
- опис потоків документів та матеріальних ресурсів.

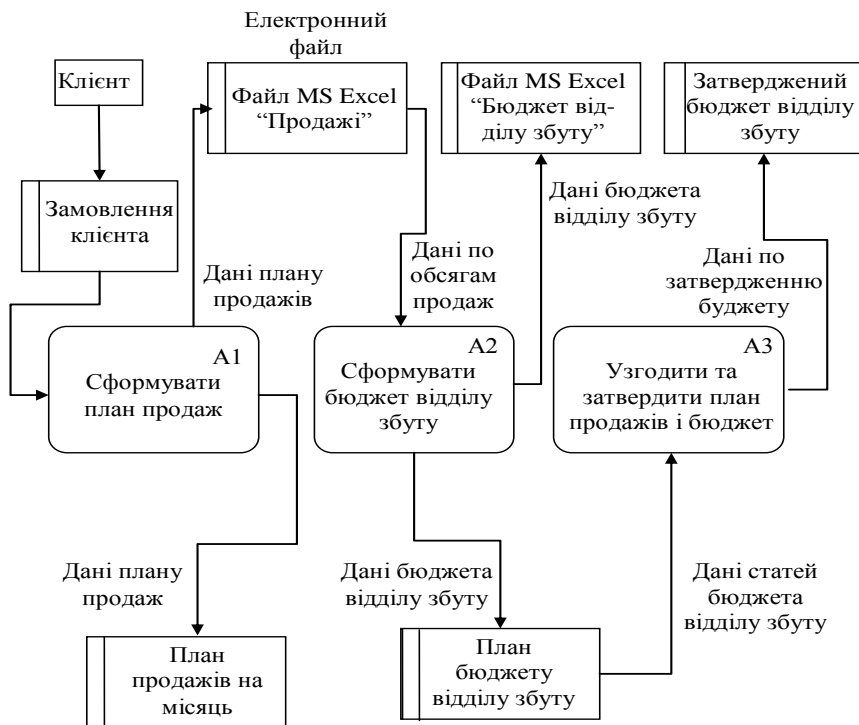


Рис. 3.15. Модель процесу в нотатції DFD

Окрім цього, нотатія DFD може бути модифікована таким чином, щоб на одній діаграмі можна було показати як потоки даних, так і потоки ресурсів.

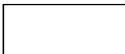

На практиці, при створенні моделей процесів часто використовують декілька нотатій. Спочатку створюють модель в нотатії IDEF0 (макрорівень), виявляють функції, які входять в процес. Після цього проводять декомпозицію процесу. При досягненні певного рівня деталізації (три-чотири) стає доцільним сформувати для кожного детального процесу кілька схем в різних форматах: керування – в IDEF0, потоки даних і матеріалів – в DFD.

3.11.5. Блок-схеми

Найпростішим, але практично важливим засобом опису бізнес-процесів є методика складання блок-схем. Основні графічні об'єкти мови опису процесів за допомогою блок-схем представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Елементи блок-схем

Найменування	Позначення	Функція
Термінатор (Початок/Закінчення)		Елемент відображає початок і кінець програми
Процес		Виконання операцій, обробка даних
Рішення		Рішення з одним входом і кількома виходами
Зумовлений процес		Виконання процесу, який визначений в іншому місці програми (наприклад, виклик процедури чи функції)
Дані		Перетворення даних у форму, придатну для обробки
Документ		Друк документа
З'єднувач		Обрив лінії та продовження її в іншому місці – при поділу блок схеми, що не поміщається на листі
Вузол додавання		Додавання/віднімання даних в схемі
Елемент "АБО"		Логічний елемент, який дозволяти вибрати той чи інший шлях в залежності від умови

Цей підхід має багато спільного з графічними мовами опису алгоритмів програмного забезпечення. З точки зору методології формування проводиться таким же чином, як і в нотації IDEF0, але для спрощення символи логіки можна опустити. Для розробки блок-схем використовують стандартні продукти, наприклад, MS Word або Visio. На рис. 3.16 зображений приклад блок-схеми.

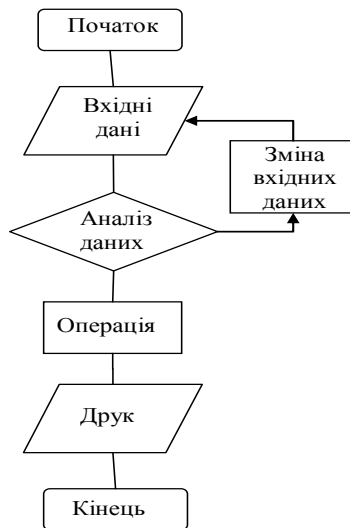


Рис. 3.16. Приклад блок-схеми

Лінії, які з'єднують блоки та мають напрямок “вліво-вниз”, зазвичай, на схемах не показуються. Опис процесів за допомогою блок-схем має одну суттєву перевагу: простота і доступність для сприйняття спеціалістами та керівниками підприємства. Окрім того, для створення блок-схем не потрібні спеціальні програмні продукти, які дорого коштують.

3.11.6. Мова моделювання UML

Починаючи із середини 60-х років і донедавна, широке поширення мали структурні методології аналізу, проектування і

розробки інформаційних систем, що характеризуються штучним поділом (часто неоптимальним) системи на підсистеми, а також слабким взаємозв'язком процесів і даних які присутні в системі. На відміну від них, об'єктні технології, орієнтовані на тісний взаємозв'язок процесів і даних у системах, дозволяють програмним системам бути надійнішими, легшими для реалізації і стійкішими до змін. Крім того, така філософія моделювання найбільше відповідає загальним концепціям поведінки систем реального світу.

Незважаючи на явну перевагу об'єктно-орієнтованих технологій аналізу і проектування перед структурними, їхнє поширення було незначним, оскільки жоден з методів не давав єдиної і цілісної об'єктної моделі системи. Кожен метод добре висвітлював одну або декілька сторін реальної системи, залишаючи в тіні багато інших, не менш важливих сторін. Крім того, відсутність єдиного стандарту дуже заважало широкому поширенню об'єктно-орієнтованих методів при розробці програмного забезпечення.

Протягом 1994-96 років творці трьох найпоширеніших методологій — Граді Буч (BOOCH), Джим Рамбо (OMT — Object Modeling Technique) і Айвар Якобсон (OOSE — Object Oriented Software Engineering) об'єднали свої зусилля під егідою Rational Software Corporation для створення єдиної мови моделювання, яка б об'єднала всі істотні й успішні розробки в даній галузі і стала би стандартом мови об'єктного моделювання. Грандіозна робота, у якій поряд з Rational брали участь представники багатьох компаній, таких, як Microsoft, IBM, Hewlett-Packard, Oracle, DEC, Unisys, IntelliCorp, Platinum Technology і кількох сотень інших завершився створенням у січні 1997 року UML 1.0, яка після бурхливого обговорення протягом 1997 року у вересні під версією 1.1 і була передана в OMG для прийняття як галузевий стандарт мови об'єктного моделювання.

UML містить 13 видів діаграм, серед яких: діаграми пакетів (Package), прецедентів (Use Case), класів (Class), діяльності (Activity), компонентів (Component), розсортування (Deployment), станів (State), послідовності (Sequence) тощо. UML використовується у випадках, коли необхідно автоматизувати техноло-

гічні процеси шляхом створення певного програмного забезпечення.

Модель реальної системи містить в собі, зазвичай, сотні об'єктів та десятки програм. В певний момент модель може стати такою складною, що перестане виконувати свою основну функцію – представлення наочної зрозумілої інформації про будову та поведінку системи. В таких випадках зручно використовувати так звані «пакети» (Packages). На діаграмі пакети використовуються для позначення частин системи, у яких міститься декілька класів, може навіть сотні класів. На рис. 3.17 показані пакети, які містять інформацію про виробничу, економічну, зовнішньоекономічну та соціальну діяльність підприємства. Моделювання було проведене в середовищі Rational XDE, яке інтегрується в Visual Studio 2003.

Практично будь-яка дія, яка відбувається при реалізації виробничих задач, відображається на прецедентах. Прецеденти можуть бути записані в текстовому вигляді з тією чи іншою стелінню докладності, а також можуть бути наочно представлені за допомогою діаграми *Use Case*.

Оскільки в прецеденті беруть участь актори (actors) та власне прецеденти (use case), то цей тип діаграм дозволяє відобразити акторів, прецеденти та їх зв'язки, а також об'єднати їх в пакети (packages).

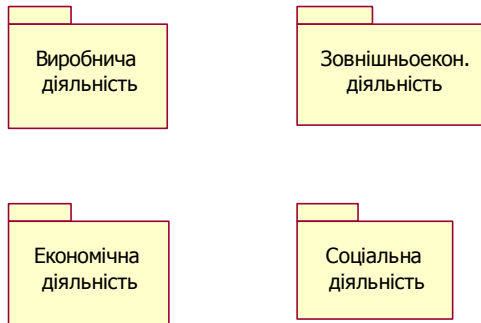


Рис. 3.17. Приклад використання пакетів

На рис. 3.18. показана модель прецедентів (Use Case), яка відображає певні дії (use case) директора (actor), при цьому на діаграмі є вкладений прецедент «Підписує юридичні папери».

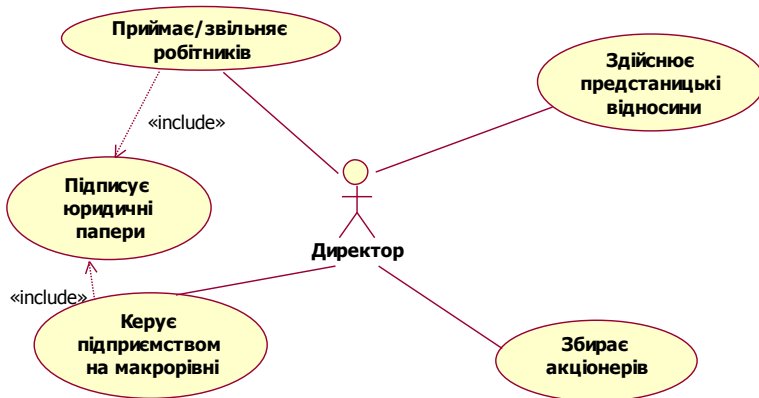


Рис. 3.18. Моделювання предметної області виробництва на прикладі діаграми Use Case.

В свою чергу, прецедент «Підписує юридичні папери» може містити інші прецеденти тощо.

Діаграма класів — статичне представлення структури моделі. Відображає статичні (декларативні) елементи, такі як: класи, типи даних, їх зміст та відношення. На рис. 3.19. показана модель класів уявного виробництва, при цьому класи відображають певні сутності, які тим чи іншим чином беруть участь у технологічному процесі: цех, начальник цеху, майстер, дільниця тощо.

Діаграма класів, також, може містити позначення для пакетів та може містити позначення для вкладених пакетів. Також, діаграма класів може містити позначення деяких елементів поведінки, однак, їх динаміку розкрито в діаграмах інших типів. Клас визначає атрибути і методи набору об'єктів. Всі об'єкти цього класу (екземпляри цього класу) мають спільну поведінку і однаковий набір атрибутів (кожен з об'єктів має свій власний набір значень).

В UML класи позначаються прямокутниками з назвою класу,

у цих прямокутниках у вигляді двох “відсіків” може бути показано атрибути і операції класу.

Атрибути

У UML атрибути показуються щонайменше назвою, також може бути показано їх тип, початкове значення і інші властивості. Крім того, атрибути може бути показано з областю видимості атрибута:

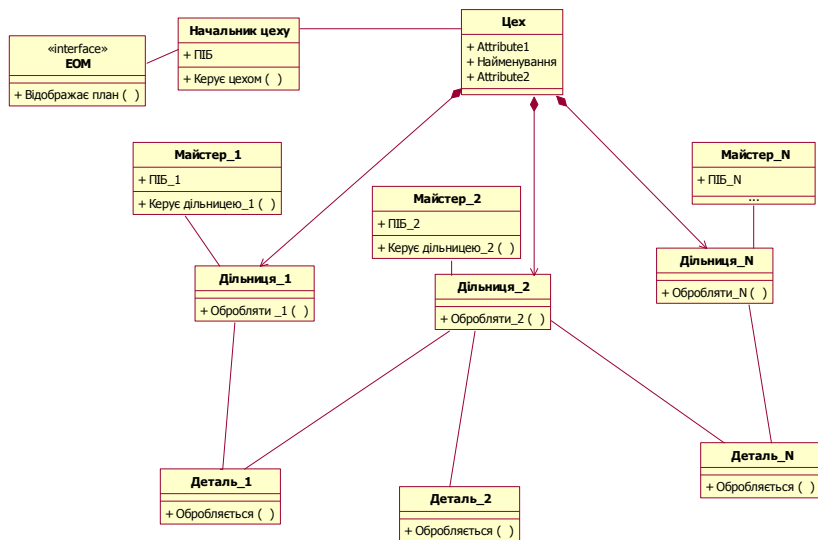


Рис. 3.19. Моделювання предметної області виробництва на прикладі діаграми класів (Class diagram)

- + відповідає публічним (public) атрибутам;
- # відповідає захищеним (protected) атрибутам;
- відповідає приватним (private) атрибутам.

Операції

Операції (методи) також показуються принаймні назвою, окрім того, може бути показано їх параметри і типи значень, які буде повернуто. Операції, як і атрибути, може бути показано з областю видимості:

- + відповідає публічним (public) операціям;
- # відповідає захищеним (protected) операціям;
- відповідає приватним (private) операціям.

Діяльність є окремим кроком у процесі. Одній діяльності відповідає окремий стан у системі з внутрішньою діяльністю і, принаймні, одна вихідна транзакція. Крім того, діяльності можуть мати декілька вихідних транзакцій, якщо умови цих транзакцій є різними.

На рис. 3.20 показано вікно програми Visio (MS Office 2007) із стандартним набором блоків для моделювання динамічних аспектів бізнес-процесів (Activity) нотації UML. Вікно містить такі блоки, як State (стан), Decision (рішення), Initial State (початковий стан), Final state (кінцевий стан) тощо.

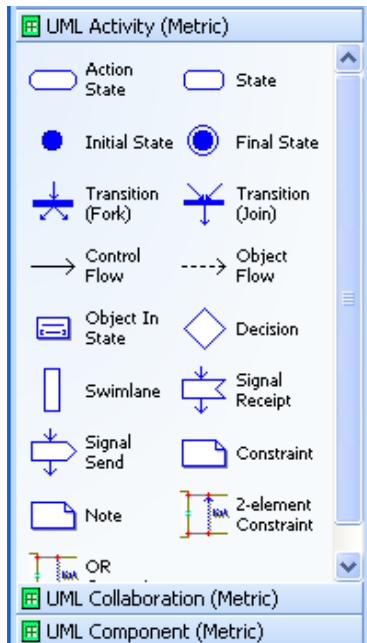


Рис. 3.20. Інтерфейс Visio для створення діаграми діяльності

Діяльності можуть формувати ієрархічні структури, це означає, що діяльність може бути складено з декількох “менших” діяльностей, у цьому випадку вхідні і вихідні транзакції мають відповідати вхідним і вихідним транзакціям докладної діаграми. Діаграми діяльності подібні до процедурних діаграм потоку, але відрізняються від них тим, що діяльності точно прив’язано до об’єктів. Діаграми діяльності завжди пов’язані з класом, операцією або прецедентом.

На діаграмах діяльності може бути показано як послідовні, так і паралельні діяльності. Паралельне виконання буде показано для діяльностей, які виконуються паралельно, і неважливим є порядок їх обробки (їх може бути виконано одночасно або одну за одною).

На **діаграмах станів** зображають різні стани об’єкта під час його існування і стимули, які призводять до переходу об’єкта з одного стану у інший. На діаграмах стану об’єкти розглядаються як *машини станів* або *скінченні автомати*, які можуть перебувати в одному зі станів скінченного набору станів, і які можуть змінювати цей стан через вплив одного зі стимулів зі скінченного набору стимулів. Наприклад, об’єкт типу *Сервер мережі* може перебувати у одному з таких станів протягом існування:

- готовність;
- очікування;
- робота;
- зупинка,

а подіями, які можуть спричинити зміну стану об’єкта можуть бути:

- створення об’єкта;
- об’єкт отримує повідомлення «очікувати»;
- клієнт надсилає запит на з’єднання мережею;
- клієнт перериває запит;
- запит виконано і перервано;
- об’єкт отримує повідомлення «зупинка» тощо.

На рис. 3.21. показана діаграма станів документа – спеціальної форми, яка заповнюється при прийомі нового співробітника на роботу. Схема виконана в середовищі Rational XDE.

Стан належить лише одному класу і відповідає переліку значень атрибутів, які може приймати клас. У UML стан описує внутрішній стан об'єкта одного з окремих класів. Потрібно зауважити, що не кожену зміну одного з атрибутів об'єкта має бути показано станом, станам відповідають лише ті зміни, які значно впливають на виконання об'єктом завдань.

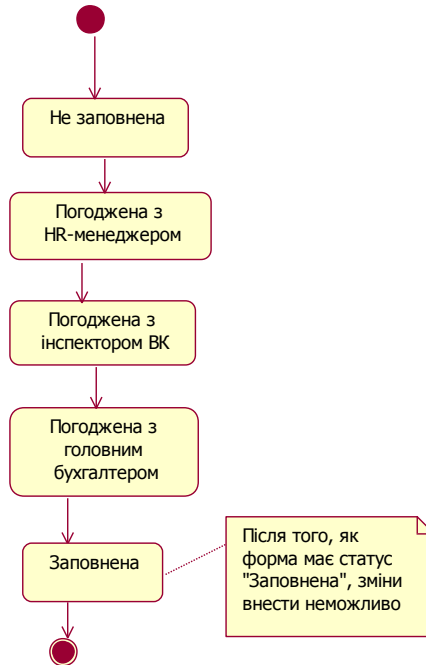


Рис. 3.21. Діаграма станів

Існує два особливі типи станів: початок і кінець. Їх особливість полягає у тому, що не існує жодної події, яка може спричинити повернення об'єкта до його початкового стану, так само, не існує жодної події, яка б могла повернути об'єкт зі стану кінця, тільки-но він його досягне.

Статуси документа («не заповнена», «погоджена з HR-менеджером», «погоджена з інспектором ВК» тощо) відбивають дії, що їх генерують певні дійові особи: HR-менеджер, інспектор ВК

тощо. Таким чином, діаграма станів прямо пов'язана з діаграмою прецедентів та з діаграмою діяльності, на яких показані «дії» виконавців. Тобто стан документа відображається за допомогою відповідних статусів.

3.11.7. Методологія ARIS

Методологія ARIS створена в компанії IDS Scheer AG, Німеччина. На сьогоднішній день на ринку інструментальних засобів моделювання бізнес-процесів представлено програмне забезпечення ARIS, що включає такі модулі: ARIS Easy Design, ARIS Toolset, ARIS Server тощо[21].

В методологію ARIS були інтегровані існуючі стандарти та специфікації опису процесів та даних, наприклад, IDEF3, ERD, DFD, UML. Основна концепція ARIS по опису організації наведена на рис. 3.22. Зображення на рис. 3.22 часто називають “будинком ARIS”. Підхід до опису процесів, що базується на методології ARIS пропонує розглядати діяльність організації в таких аспектах: організаційна структура, дані (потоки і структура), функції (функціональні ієрархії), контроль і керування (зведені моделі бізнес-процесів).

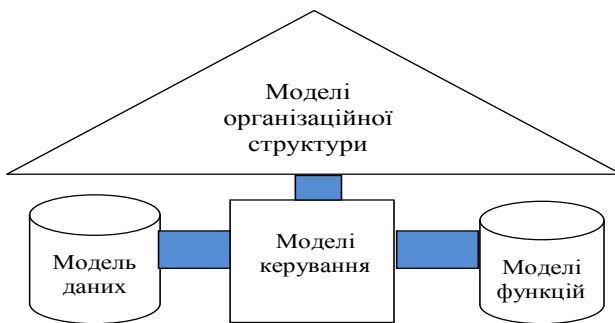


Рис. 3.22. Основні види моделей в методології ARIS

Методологія ARIS містить в собі велику кількість різноманітних нотацій, які допускають створення різних гнучких моделей організації, серед яких найбільш значущі та використо-

вувані такі:

- нотація Value-added Chain Diagram (діаграма послідовності, ланцюга процесів, які додають цінність);
- нотації extended Event-driven Process Chain – eEPC (розширена нотація ланцюга процесу, який керується подією) та PCD (діаграма ланцюга процесу);
- нотація Organizational Chart (організаційна діаграма);
- нотація Function Tree (дерево функцій);
- нотація Product Tree (дерево продуктів);

Перевагою методології ARIS є її комплексність, яка виявляється у взаємозв'язку моделей, побудованих в різних нотаціях. Методологія ARIS дозволяє описати діяльність підприємства з різних точок зору, при цьому отримані моделі будуть певною мірою зв'язані між собою.

Розглянемо приклад застосування нотації eEPC для опису бізнес-процесів. На рис. 3.23 представлена спрощена модель ARIS eEPC, яка описує модель бізнес-процесів підприємства. Зв'язки між об'єктами мають певний зміст, і відображають послідовність виконання функцій рамках процесу. Стрілка, що з'єднує *Подію_1* та *Функцію_1*, активує (activates), або ініціалізує виконання *Функції_1*. *Функція_1* створює *Подію_1*, за яким слідує символ логічного оператора "І", що запускає виконання *Функції_2* і *Функції_3*.

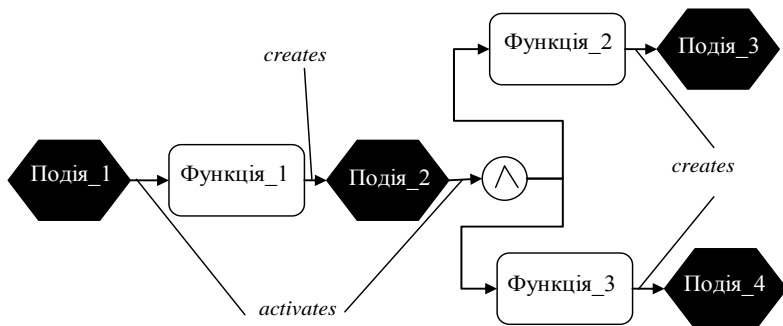


Рис. 3.23. Нотація ARIS eERP

Практично ARIS eERP мало відрізняється від нотації IDEF3. Головною відмінністю ARIS eERP є наявність об'єкта "Подія" (event). Цей об'єкт потрібен для відображення в моделі можливих результатів виконання функцій, в залежності від яких виконується та чи інша вітка процесу.

При побудові моделей в ARIS eERP необхідно притримуватись таких правил:

1. Кожна функція повинна бути ініційована подією та закінчуватися подією.

2. В кожному функцію може входити не більше однієї стрілки, яка запускає виконання цієї функції, та виходити не більше однієї стрілки, яка описує завершення виконання функції.

Однак, необхідно зазначити, що такий підхід:

- вимагає наявності інструментального середовища ARIS Toolset, яке дорого коштує на ринку подібних продуктів і складне в користуванні;
- важко реалізувати на практиці, оскільки це тягне за собою значні витрати ресурсів (людських, матеріальних та фінансових) на протязі тривалого часу.

Розділ 4. ЦІЛІ СИСТЕМ: ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ

4.1. Роль цілей в керуванні складними системами

Однією з принципових особливостей системного аналізу, що відрізняє його від інших напрямів системних досліджень, є розробка та використання засобів для формування та аналізу цілей і функцій систем управління.

Особливості біологічних та соціально-економічних об'єктів у порівнянні з технічними, як було показано в розділі 1, призвели до виникнення в 20-ті рр. XX ст. теорії організаційних систем - тектології А. А. Богданова, а в 30-ті роки - загальної теорії систем Л. фон Берталанфі[1,2,6,19].

Протягом значного періоду розвитку теорії систем і її прикладних напрямків - системотехніки, системології, системного аналізу - основою дослідження та моделювання широкого класу систем була парадигма відкритої системи Берталанфі.

Було проведено багато досліджень, які допомогли усвідомити і використати для організації управління поняття мети як спонукання, а не примусу, до діяльності, дозволили сформулювати закономірності цілеформування з урахуванням взаємодії зовнішніх і внутрішніх факторів і стали основою для розробки методик структуризації цілей і функцій систем організаційного управління.

У той же час поступово парадигма відкритої системи, яка допомагала добре відображати сутність біологічних об'єктів, стала доповнюватися все більшою увагою дослідників не до зовнішніх факторів середовища, що впливає на існування і функціонування системи, а до внутрішніх активних джерел, які призводять до прояву в соціально-економічних об'єктах таких властивостей, як нестаціонарність параметрів і нестабільність поведінки, непередбачуваність і унікальність, здатність адаптуватися до змінних умов (причому не тільки до завад, але і до керуючих впливів), здатність змінювати свою структуру і генерувати варіанти поведінки, здатність і прагнення до цілеутворення тощо.

Більшість з цих властивостей є наслідком наявності в системі активних елементів, які і обумовлюють здатність

системи протистояти ентропійним, руйнуючим, тенденціям і створювати негентропійні. На те, що в складних системах виявляються не тільки закономірності (енергетичні, інформаційні), подібні другим законам термодинаміки, але і протидіють їм, звернув увагу ще Берталанфі. Потім синергетика І. Пригожина, “дуалізм” Дж. ван Гіга допомогли більш глибоко усвідомити принципову наявність в системах, що розвиваються, одночасно двох закономірностей - прагнення до збільшення ентропії і прояв негентропійної тенденції, які обумовлюють складні діалектичні взаємовідносини між рівнями ієрархічної впорядкованості систем.

Спочатку дослідники пояснювали здатність системи протистояти ентропійним тенденціям відкритістю системи, її взаємодією з середовищем. Але потім з'явилися концепції, які спираються на активне начало компонентів системи. Такі концепції управління соціально-економічними об'єктами базуються не тільки на традиційно рекомендованих методах примусу (у тому числі методи примусу до праці в тій чи іншій формі, методах, що виправдовують експлуатацію, насильство і т.п. засоби), а рекомендують, використовуючи активність елементів, спиратися на целеутворення, організацію процесів колективного формування цілей-спонукань до дії, що сприяють підвищенню ефективності діяльності активних елементів.

Для реалізації ролі мети в системах організаційного управління необхідно забезпечити повноту визначення цілей і функцій підприємства, організації, регіону тощо на відповідному етапі їх розвитку, провести оцінку функцій з точки зору їх значимості, трудомісткості, частоти виконання, сформувати структуру цілей і функцій для обраного рівня системи управління чи досліджуваного виду діяльності.

У результаті такого аналізу керівники організації або окремих її підрозділів можуть отримати рекомендації про необхідність посилення уваги до тих чи інших видів діяльності, ділянок виробництва, функцій управління, про доцільність перерозподілу фінансових, матеріальних, кадрових та інших ресурсів. Отримана структура цілей і функцій є основою для розробки або коригування організаційної структури підприємства, системи

управління регіоном тощо.

Усвідомлення ролі мети і цілеспрямованості в системах управління призвело до створення в зарубіжних країнах так званих «думаючих» фірм і корпорацій типу RAND, що займаються розробкою прогнозів розвитку, формуванням та аналізом структур цілей («дерев цілей») спочатку в області управління військовим потенціалом (для чого була розроблена методика ПАТЕРН, яка описана п. 4.3). Потім звернулися до вивчення цілеспрямованих систем, що прагнуть до ідеалу. Розвитком цих досліджень з'явився ряд робіт з прогнозування та перспективного планування на різних фірмах і на загальнодержавному рівні в США.

4.2. Ціль як модель

Найважливішим, організуючим елементом свідомої людської діяльності є ціль – образ бажаного майбутнього, тобто модель стану, на реалізацію якого і спрямована діяльність. Цілі, які ставить перед собою людина, рідко можна досягнути тільки за рахунок його власних можливостей, або зовнішніх засобів, які вона має на поточний момент. Такий збіг обставин називається *проблемною ситуацією*. Прикладом такої ситуації, яка вимагає створення АСУ, є випадок, коли звичайні засоби збору та переробки інформації не забезпечують необхідної повноти та швидкості її обробки, що суттєво знижує якість управлінських рішень.

Проблемність існуючого стану усвідомлюється в кілька стадій: від неясного відчуття, що “щось не так” до усвідомленої потреби, потім до виявлення проблеми і, нарешті, до формулювання цілі. Вся наступна діяльність, що сприяє розв’язанню цієї проблеми, спрямована на досягнення поставленої цілі.

Таким чином, можна дати ще одне визначення цілі:

ціль – це суб’єктивний образ (абстрактна модель) неіснуючого, але бажаного стану середовища, який би вирішив наявну проблему. А система – засіб досягнення цілі.

Між ціллю (абстрактною моделлю) і реальною моделлю немає і не може бути однозначної відповідності. Тобто для

досягнення заданої цілі можуть бути обрані різні засоби-системи, з іншого боку, задану реальну систему можна використовувати і для інших цілей, прямо не передбачених при її створенні.

Оскільки справа з формулюванням цілей не така вже і однозначна, то при формулюванні цілей систем, які тільки проектуються, слід підходити дуже обережно. Відомі випадки, коли створена система повністю відповідала поставленим цілям, але абсолютно не задовольняла тих, хто ці цілі формулював. В інженерній практиці момент постановки цілей (формулювання тех.-нічного завдання) – один із важливіших етапів створення системи. Спеціалісти розуміють складності цього етапу і суто формально трактують його результат тільки тоді, коли настає юридична відповідальність за невдачу. Зазвичай, *цілі уточнюються ітеративно, з численними змінами та доповненнями*

4.3. Методики системного аналізу цілей

Першою методикою системного аналізу, в якій були визначені порядок, методи формування та оцінки пріоритетів елементів структур цілей (названих у методиці “деревами цілей”), була методика паттерн (PATTERN). Вважається, що ініціатором її створення є Ч. Девіс, віце-президент фірми “Хоніуелл” корпорації РЕНД (RAND), однієї з так званих “думаючих”, неприбуткових корпорацій, що займаються розробкою військових доктрин, рекомендацій для вибору проектів нових систем зброї, дослідженням військового та наукового потенціалу “потенційних ворогів”, ринків збуту зброї, проблемами аналізу і прогнозування розвитку військового потенціалу США тощо [4].

Призначенням, кінцевою метою створення системи ПАТТЕРН була підготовка і реалізація планів забезпечення військової переваги США над усім світом. Перед розробниками методики ПАТТЕРН було поставлено завдання – зв'язати воедино військові та наукові плани уряду США. Перші повідомлення про методику ПАТТЕРН з'явилися в кінці 1963 р. Але в подальшому, оскільки цією ініціативою фірми “Хоніуелл”

зацікавилася міністерство оборони США, публікації у відкритій пресі були обмежені, а в подальшому, після того як сенатор Г. Гемфрі виступив в 1964 р. в Конгресі США з пропозицією створити на базі ідеї ПАТТЕРН Бюро допомоги президентові у підготовці рішень науково-інформаційними методами (PASSIM), відкриті публікації про розвиток методики практично відсутні.

Принципова структура методики ПАТТЕРН наведена на рис. 4.1. В якості основи для формування й оцінки “дерева цілей” розроблялися “сценарій” (нормативний прогноз) і прог-ноз розвитку науки і техніки (вишуквальний прогноз).

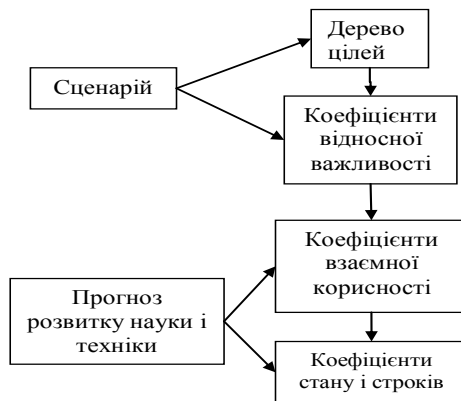


Рис. 4.1. Структура методики ПАТТЕРН

З перших публікацій відомо наступне: керівником першої розробки ПАТТЕРН був С. Зігфорд, до групи розробників входило 15 висококваліфікованих фахівців, що володіють правом консультуватися з будь-яким працівником фірми і мають доступ до будь-яких документів; розробникам системи надавалася можливість консультуватися з сотнями тисяч фахівців і десятками фірм (зокрема, при практичній реалізації першого варіанту методики розробники мали право консультуватися з 17000 фахівцями); первісна модель ПАТТЕРН потребувала обробки понад 160 проміжних рішень; в

числі основних виконавців проекту - НАСА, Міністерство оборони США і десятки інших організацій, які здійснюють вплив на управління країною.

Приклад варіанту “дерева цілей”, який був побудований при виконанні одного з проектів ПАТТЕРН, наведено на рис. 4.2. Різним рівнями “дерева” давалися різні назви. Судячи з кількості елементів, між рівнями “Завдання” та “Програми” існували не строго деревоподібні, а “слабкі” зв'язки.

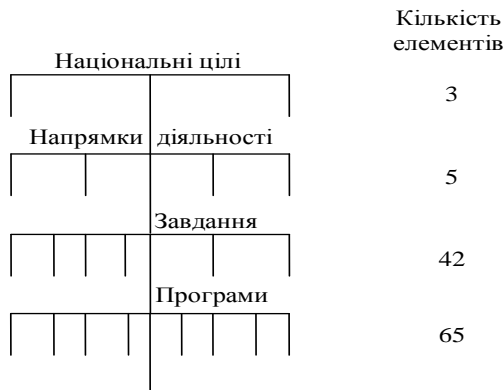


Рис. 4.2. Дерево цілей, побудоване за методикою ПАТТЕРН

Практика використання системи ПАТТЕРН показала, що вона дозволяє проводити аналіз складних проблемних ситуацій, розподіляти за важливістю величезна кількість даних в будь-якій області діяльності, досліджувати взаємне співвідношення постійних і змінних факторів, на яких ґрунтуються і на які впливають прийняті ними рішення.

Система ПАТТЕРН стала важливим інструментом аналізу важко вирішуваних проблем з великою невизначеністю, прогнозування та планування їх виконання. Основні ідеї методики застосовувалися в різних областях – наукові дослідження, проектування і створення систем різної складності в науково-дослідних організаціях і на підприємствах, розширення ринків збуту військово-космічної продукції тощо. Методика ПАТТЕРН

забезпечувала можливість прогнозування на термін 10-15 років, що відповідало “життєвому циклу” становлення і старіння техніки.

У СРСР роботи подібного роду почалися з дослідження досвіду США. Зокрема, при реалізації системи “МЗО-Прогноз1” (МЗО – метод зважених оцінок) в Міністерстві електротехнічної промисловості СРСР кінцеве “дерево цілей”, що відображає мету розвитку, основні напрями діяльності міністерства, області його наукових і практичних інтересів (і так далі, вниз по рівням “дерева”) нагадувало “дерево цілей” системи ПАТТЕРН, але техніка роботи з оцінками відносної важливості дещо відрізнялася.

В історичній хронології слід зазначити роботи фахівців лєнінградської школи прогнозування 1971-1973 рр.. (В. А. Чабровського, Г. М. Вапне), які внесли важливий внесок у трактування поняття мети. Зокрема, введено важливе для практичного застосування уявлення про двох різних поняттях цілі: “мета діяльності” (актуальна, конкретна мета) і нескінченна “мета-прагнення”, “мета-ідеал”, потенційна мета і висловлена ідея про єдність мети, засобу (варіанту) її досягнення та критерію оцінки.

Головна перевага методики ПАТТЕРН полягає в тому, що в ній визначені класи критеріїв оцінки відносної важливості, взаємної корисності, стану та строків розробки (“стан – строк”).

Ці класи критеріїв у різних модифікаціях використовуються у ряді інших методик і досі є основою при визначенні системи оцінок складових структур цілей.

Першими роботами, в яких запропоновані не тільки принципи формування “дерева цілей”, але й ознаки структуризації, були роботи Ю.І. Черняка (1973 р.), яким, зокрема, було запропоновано:

- концепцію про однакову віддаленості мети (рис. 4.3) за просторовою і часовою шкалою.

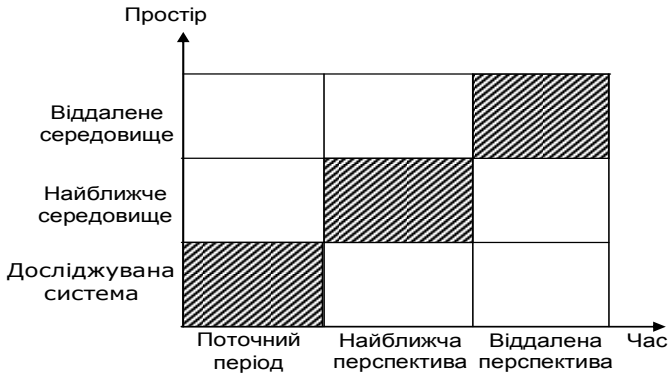


Рис. 4.3. Віддаленість мети за просторовою і часовою шкалою

На рис. 4.4 наведено приклад використання цього принципу при формуванні структури цілей і функцій Галузевої автоматизованої системи управління морським транспортом - ОАСУ “Морфлот”.

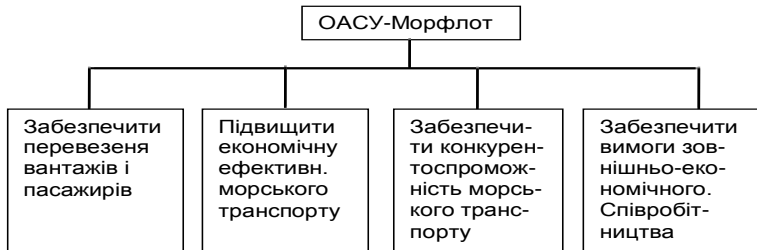


Рис. 4.4. Структура цілей і функцій ОАСУ-Морфлот

- принцип виділення складових на верхньому рівні структури “дерева” для вирішення нових, недосліджених проблем (“що потрібно ДІЗНАТИСЯ”, “що потрібно СТВОРИТИ”, “що потрібно ОРГАНІЗУВАТИ” – рис. 4.5);

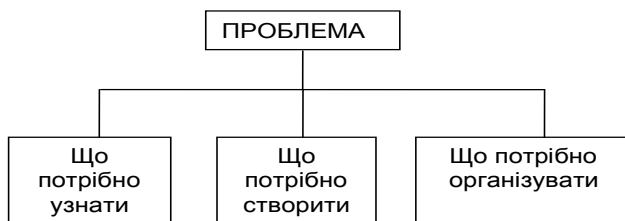


Рис. 4.5. Виділення складових проблеми

• принцип “пірамідки” (рис. 4.6), що допомагає зрозуміти, що виділяються гілки “дерева цілей” характеризують обсяг “області мети” (досвід показав, що розкрити “область мети” допомагає послідовне переміщення по гранях “пірамідки” з поверненням на новому витку до вже структурованим гілкам з урахуванням нового бачення проблеми) і ряд інших прийомів і ознак, що знайшли широке застосування в практиці формування структур цілей при розробці галузевих АСУ.

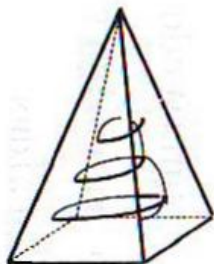


Рис. 4.6. “Піраміда” процедури формування цілі

Далі однією з перших методик, орієнтованих власне на структурування функцій систем організаційного управління, була методика С.А. Валуєва (рис. 4.7). В її основу покладені принципи аналізу характеристик організаційної системи визначення функцій, які розкривають зміст процесу управління, і вперше було запропоновано враховувати етапи циклу прийняття рішення (від його підготовки до реалізації, оцінки і контролю).

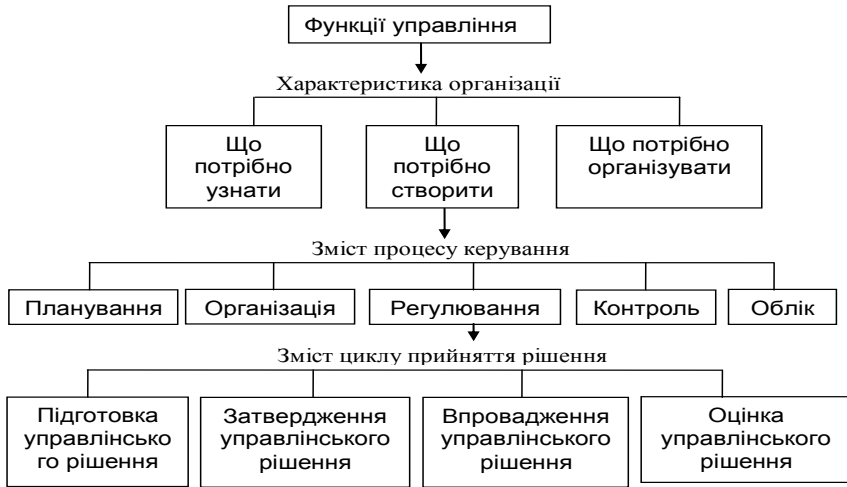


Рис. 4.7. Поетапна система визначення функцій

Отримані у вищенаведених методиках принципи і ознаки структуризації запропоновані їх авторами на основі накопиченого досвіду формування структур цілей. Це знаходиться у відповідності з основними принципами системного аналізу – використання інтуїції і досвіду фахівців; часткова формалізація цього досвіду у вигляді принципів і прийомів, і використання отриманих принципів, прийомів і ознак структуризації для активізації, у свою чергу, інтуїції і досвіду інших фахівців, які формують структуру цілей та функцій у нових умовах, для вирішення нових проблем.

Однак такий підхід не гарантує повноти аналізу. Тому надалі в пошуках принципів, що забезпечують повноту структури цілей, дослідники звернулися до філософського обґрунтування концепції системи, до розробки на цій основі моделей системи, що дозволяють відобразити цю концепцію і гарантувати повноту структуризації, принаймні, в рамках прийнятої концепції і моделей, що її відображають.

4.4. Аналіз цілей в складних системах

Розглянуті методики були розроблені для формування та аналізу деревоподібних ієрархічних структур цілей, які є найбільш зручним засобом організації управління. Однак при керуванні в реальних умовах великими підприємствами, вузами та іншими організаціями неможливо побудувати ієрархічну структуру у вигляді єдиного “дерева”, що зв'язує централізований апарат управління з виробництвами і цехами (або для вузу – ректорат з факультетами та кафедрами).

Цей факт спочатку викликав у практичних працівників недо-віру до методу “дерева цілей” як до теорії, не прийнятною для реальних умов. Але дослідження закономірностей цілеутворення і формування структур цільової функції дозволили пояснити цей факт і дати практичні рекомендації щодо формування деревоподібних ієрархічних структур цілей і функцій, з яких, зокрема, випливає, що одним «деревом цілей» слід вважати ту частину структури, яка може бути сформована однією мовою, а при зміні термінології потрібно формувати інше “дерево”, в нових термінах[4].

Іншими словами, у складних багатоаспектних багаторівневих системах необхідно стратифіковане подання їх цілей і функцій. Страти можна виділяти за принципом використання різних засобів (різних “мов” подання цілей) у процесі проходження об'єктом шляху від задуму до його реалізації: вербальний опис концепції створюваного підприємства або нового виду продукції, інженерно-конструкторське подання процесу його створення (для продукції, наприклад, - обробка, складання тощо), опис технології створення продукції і, нарешті, - власне організацію технологічного процесу (лиття, обробки, випробувань, складання тощо).

Цей спосіб стратифікації використовується на підприємстві при розробці відповідних нормативно-технічних та нормативно-методичних документів, що регламентують різні стадії проектування і виробництва продукції, і реалізується у формі різних класифікаторів функцій конструкторських розробок, технологічних процесів виробництва, виконуваних працівниками відповідної кваліфікації.

При розробці нормативних документів, які відображають перспективи розвитку підприємства, об'єднання, організації, таких як прогнози, основні напрямки, комплексні програми розвитку підприємств (організацій), відокремлення “дерев” одне від іншого зручніше проводити у відповідності з рівнями організації ієрархії систем управління, тобто виділяти страти за принципом “апарат централізованого управління - виробництво – цех” або “ректорат – факультет - кафедра”, розробляючи основні напрямки та прогнози розвитку для цих рівнів. При такому стратифікованому поданні цілей виникає проблема взаємодії між структурами цілей різних рівнів організаційної структури підприємства (організації).

Дослідження цієї проблеми показали, що в принципі структури цілей (основних напрямків розвитку) і функцій на кожній страті можуть бути сформовані за різними логічними принципами (тобто за допомогою різних методик структуризації) і навіть із використанням різних видів структур (на верхніх рівнях - деревоподібні ієрархії, на нижніх - послідовності функцій у вигляді мережевої моделі), однак при аналізі варіантів структури цілей і функцій підприємства (організації) доцільно спочатку на всіх стратах побудувати ієрархічні структури з використанням однієї з методик структуризації, що дозволяє приймати рішення про перерозподіл функцій між рівнями системи організаційного управління.

Таке уявлення структур основних напрямків і функцій відображене на рис. 4.8, де показано, що глобальна мета може і не спроекуватись на нижню страту і, крім того, на цій страті різні гілки можуть формуватися різними підрозділами і не бути зв'язаними на своєму рівні (по горизонталі), хоча, в принципі, можуть існувати й горизонтальні взаємозв'язки.

При проведенні експертного опитування щодо перерозподілу функцій між стратами експертну групу слід формувати з урахуванням простору ініціювання цілей, тобто законності комунікативності.

Після розподілу функцій між рівнями організаційного управління на кожному з них структури цільової функції можуть бути змінені і в загальному випадку взаємодія між

структурами цілей різних рівнів може бути відображена згідно рис. 4.8.

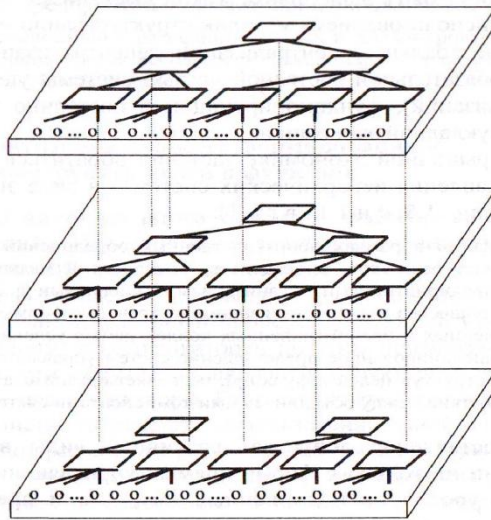


Рис. 4.8. Проекції цілей на нижчі рівні

Розглянутий підхід до подання структур цілей у багато-рівневу систему управління особливо актуальний в умовах перерозподілу функцій з метою надання більшої самостійності нижнім ланкам системи управління. При цьому, приймаючи рішення про децентралізацію управління, необхідно забезпечити контроль над тим, щоб, передаючи ряд функцій нижнім рівням управління, не втратити функції, які можуть бути реалізовані тільки централізованими органами управління і при передачі на нижні рівні в принципі не можуть бути виконані. Такий “механізм” перерозподілу функцій з виконанням методик структуризації і з оцінкою степені (балансу) централізації-децентралізації управління повинен стати обов’язковою складовою частиною системи управління підприємств (організацій), що функціонують в постійно змінних умовах багаторівневої економіки.

При створенні в рамках виробничих об’єднань саморегулю-

ваних ділянок, цехів, виробництв, підприємств малих форм; при управлінні підприємствами та організаціями, що входять в об'єднання, акціонерне товариство тощо організаційно-правові форми існування промислових і непромислових колективів в умовах ринкової економіки, ешелоноване предствлення систем управління, а відповідно і їх структур цілей і функцій, дозволяє організувати більш гнучку взаємодію між компонентами системи, що об'єднуються.

Таке представлення допускає різні види взаємодії між рівнями не тільки у формі прямих керуючих впливів вищого рівня на підпорядковані йому, а й переважно взаємини між структурними одиницями різних організаційно-правових форм (по горизонталі й вертикалі) у вигляді координуючих зв'язків з різною ступінню втручання у діяльність цих структурних одиниць.

Подібні принципи взаємодії реалізуються, наприклад, в структурах типу холдингу, в яких різним організаціям і фірмам, що входять до холдингу, надається різна степінь самостійності, але забезпечуються і контролюються (зокрема, за допомогою відповідного розподілу пакета акцій) взаємозв'язки, які за безпечують збереження цілісності холдингової системи.

При застосуванні стратифікованих і ешелонованих представлень перший етап методики формування цільової функції повинен містити підетапи розподілу функцій по стратам чи структурним підрозділам ешелонів, а при реалізації другого етапу використовувати не традиційні експертні оцінки, а методи організації складних експертиз, непрямі кількісні оцінки та інформаційну оцінку степені цілісності, яка стосовно до структур цілей інтерпретується як критерій керованості системою при наданні свободи суб'єктам, які реалізують підцілі та функції; а для ешелонованих структур типу холдингу трактується як степінь координованость підприємств і організацій, що входять до холдингу.

При формуванні стратифікованих і ешелонованих структур цільової функції доцільно також використовувати закономірності целеформування та методики структуризації цілей.

Розділ 5. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

5.1. Альтернативи та критерії

Варіанти дій прийнято називати *альтернативами*. *Альтернативи* - невід'ємна частина проблеми прийняття рішень: якщо немає з чого вибирати, то немає і вибору. Отже, для постановки задачі прийняття рішень необхідно мати хоча б дві альтернативи. Альтернативи бувають *незалежними* і *залежними*. Незалежними є ті альтернативи, будь-які дії з якими (видалення з розгляду, виділення як єдино кращої) не впливають на якість інших альтернатив. При залежних альтернативах оцінки одних з них впливають на якість інших. Є різні типи залежності альтернатив. Найбільш простим і очевидним є безпосередня групова залежність: якщо вирішили розглядати хоча б одну альтернативу з групи, то треба розглядати і всю групу. Так, при плануванні розвитку міста рішення про збереження історичного центру тягне за собою розгляд всіх варіантів його реалізації.

Задачі прийняття рішень істотно розрізняються також в залежності від наявності альтернатив на момент вироблення політики та прийняття рішень. Зустрічаються задачі, коли всі альтернативи вже задані, визначені, і необхідно лише вибрати кращі з цієї множини. Наприклад, ми можемо шукати найбільш ефективну фірму з уже наявних, визначати кращий університет, кращу з побудованих яхт і т.д. Особливістю цих завдань є замкнена (що не розширюється) множина альтернатив. Але існує безліч задач іншого типу, де всі альтернативи або, їх значна частина, з'являються після прийняття основних рішень. Наприклад, необхідно розробити правило відкриття кредитів у банку для організацій або приватних осіб. Тут альтернативи (конкретні організації або особи) принципово з'являються лише після вироблення і оголошення правил.

Коли альтернатив багато (сотні і тисячі), увага ОПР не може зосередитися на кожній з них. У таких ситуаціях зростає необхідність в чітких правилах вибору, в процедурах використання експертів, в розробці сукупності правил, що дозво-

ляють проводити в життя несуперечливу і послідовну політику. У всьому цьому існує потреба і тоді, коли число альтернатив невелика (до 20). У таких задачах, як, наприклад, вибір плану політичної кампанії, вибір траси газопроводу, вибір плану розвитку міста тощо, основних альтернатив, з розгляду яких починається вибір, порівняно небагато. Але вони не є єдино можливими. Часто на їх основі в процесі вибору виникають нові альтернативи. первинні, основні альтернативи не завжди задовольняють учасників процесу вибору. Однак вони допомагають їм зрозуміти, чого конкретно не вистачає, що реалізується при даній ситуації, а що ні. Цей клас завдань можна назвати завданнями з альтернативами, що створюються.

У сучасній науці про прийняття рішень вважається, що варіанти рішень характеризуються різними показниками їх привабливості для ОПР. Ці показники називають ознаками, факторами, атрибутами або критеріями. Надалі будемо користуватись терміном «*критерій*». Будемо називати критеріями оцінки альтернатив показники їх привабливості (або неправабливості) для учасників процесу вибору.

У професійній діяльності вибір критеріїв часто визначається багаторічною практикою, досвідом. У переважній більшості завдань вибору є досить багато критеріїв оцінок варіантів рішень. Ці критерії можуть бути *незалежними* або *залежними*. Залежними називаються ті критерії, при яких оцінка альтернативи по одному з них визначає (однозначно чи з великим ступенем ймовірності) оцінку за іншим критерієм. Залежність між критеріями призводить до появи цілісних образів альтернатив, які мають для кожного з учасників процесу вибору певний смисловий зміст.

На складність задач прийняття рішень впливає також кількість критеріїв. При невеликій кількості критеріїв (два-три) завдання порівняння двох альтернатив досить просте і прозоре, якості за критеріями можуть бути безпосередньо зіставлені і вироблений компроміс. При великому числі критеріїв завдання стає складним.

На щастя, при великій кількості критеріїв вони, зазвичай, можуть бути об'єднані в групи, що мають конкретне смислове

значення і назву. Підставою для природного угруповання критеріїв є можливість виділити плюси і мінуси альтернатив, їх переваги і недоліки (наприклад, вартість і ефективність). Такі групи, як правило, незалежні. Виявлення структури на значній кількості критеріїв робить процес прийняття рішень значно більш осмисленим і ефективним.

5.2. Проблема вибору та прийняття рішень

Одним із етапів цілеспрямованої діяльності людини разом з моделюванням, експериментом, обміном інформацією є прийняття рішення. Рано чи пізно настає момент, коли подальші дії можуть бути різними, з різними результатами, а реалізувати можна лише одну дію, причому повернутись до попередньої ситуації, як правило, неможливо.

Робити правильний вибір – надзвичайно важлива якість: великі полководці, видатні політики, геніальні інженери та вчені, талановиті адміністратори відрізнялись вмінням приймати найкращі рішення, робити найкращий вибір.

Особливості процесу прийняття рішення як роду діяльності[15]:

- повна формалізація, алгоритмізація вибору можлива лише для добре визначених (добре структурованих) задач;
- для погано визначених, погано структурованих задач формальних алгоритмів не існує (за винятком методу спроб і помилок);
- на сьогодні найкращий шлях – використання можливостей людини орієнтуватись у невизначених ситуаціях та спеціальних комп'ютерних систем – діалогових систем з інтелектуальними підсистемами підтримки прийняття рішень, експертних систем, інформаційно-пошукових тощо.

Прийняття рішення можна розглядати як ітеративну процедуру, кожний цикл якої містить кілька послідовних кроків. На рис. 5.1. показані кроки такого циклу[5].

Реалізувати функцію прийняття рішення необхідно в тому випадку, коли перед аналітиком стоїть задача, яка чекає свого рішення, або повинні бути задоволені певні потреби. Особа, що приймає рішення, зазвичай, має певний досвід та знання, які

стають в нагоді при розгляді існуючих варіантів. Варіанти – це різні стратегії, за допомогою яких можуть бути реалізовані наміри чи прагнення. Кожний варіант веде до одного, або кільком відомим результатам. До того, як ОПР зможе здійснити вибір варіанта і відповідних результатів, кожний можливий результат повинен бути оцінений, виходячи із степені його корисності для реалізації майбутніх намірів.

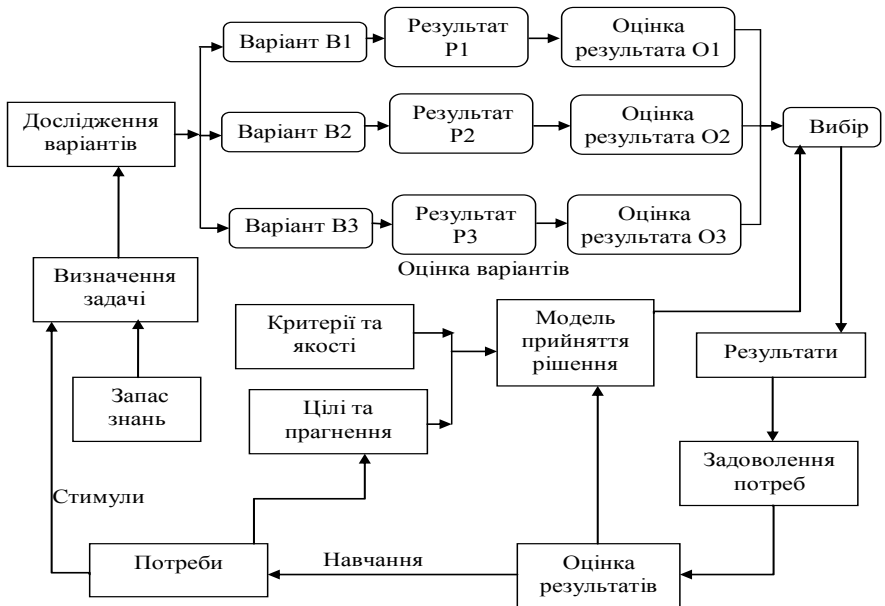


Рис. 5.1. Процес формування рішення

Оцінка результатів виводиться у відповідності із визначеним критерієм, формулювання якого, зазвичай, вводиться в модель прийняття рішення. Реалізація того чи іншого варіанта призводить до результатів, які в тій чи іншій мірі повинні задовольняти початкові потреби. Щоб оцінити ступінь, в якій варіант задовольняє початковим вимогам, проводиться новий цикл. Порівняння очікуваних та досягнутих результатів може

спричинити модифікацію початкової задачі та здійснення нового циклу.

Одна з теорій описує пошук варіантів як процес формування системи “ціль-засоби-результати”. При цьому розглядаються можливі варіанти, а задачі та цілі діляться на підзадачі та підцілі. В системному аналізі процес генерування та пошуку варіантів є центральним та вирішальним для успішного досягнення цілей.

Представимо процес прийняття рішення як дії над множиною альтернатив, в результаті чого виділяється підмножина обраних альтернатив (або одна альтернатива). Звуження множини альтернатив є тоді, коли є спосіб порівняння їх між собою та виділення кращих.

Для проблеми вибору характерна множинність задач. Можуть бути варіанти:

- множина альтернатив може бути кінцева, чи ні;
- оцінка альтернатив здійснюється за одним чи кількома критеріями (кількісними чи якісними);
- режим вибору може бути однократним (разовим) або з поверненням та навчанням на досвіді (на експерименті);
- наслідки вибору можуть бути точно відомими (вибір в умовах визначеності), мати ймовірнісний характер (вибір в умовах розвитку), або мати неоднозначний результат, який не допускає введення ймовірностей (вибір в умовах невизначеності);
- відповідальність за вибір може бути одно- чи багатосторонньою, індивідуальний чи груповий вибір;
- степінь узгодженості цілей при багатосторонньому виборі може змінюватись від повного узгодження (співпадіння) інтересів сторін (кооперативний вибір) до їх протилежності (вибір в конфліктній ситуації). Можливі і проміжні випадки – компромісний вибір, вибір в умовах зростаючого конфлікту тощо.

Найчастіше використовується критеріальна мова опису вибору, що дає можливість визначити для критеріїв числа і порівнювати їх. Якщо, наприклад, x – деяка альтернатива з множини X , то для $x \in X$ можна задати функцію $q(x)$ – критерій (якості, цільова функція, функція корисності тощо),

яка має ту властивість, що коли альтернатива X_1 краща X_2 ($X_1 > X_2$), то $q(X_1) > q(X_2)$.

Тепер, якщо вважати, що вибір будь-якої альтернативи однозначно призводить до відомих наслідків (в умовах визначеності), то найкращою альтернативою X^* є та, яка має найбільше значення критерію якості:

$$X^* = \arg \max_{x \in X} q(x).$$

Задача пошуку найкращої альтернативи X^* є, зазвичай, складною та багатокритеріальною, залежить від характеру $q(x)$: функція чи функціонал, наявності екстремумів тощо.

5.3. Прийняття рішень в складних системах управління

В складних системах управління розглядається сімейство підпроблем, розв'язання яких дає розв'язок загальної проблеми. В свою чергу, кожна з підпроблем може бути достатньо складною, так, що для її розв'язку теж доцільно використовувати багат шаровий підхід (наприклад, функціональну ієрархію), або сформувані окрему багатоешелонну систему (якщо дозволяють ресурси і час). Приклад – робота великих органів планування корпорацій (рис. 5.2).

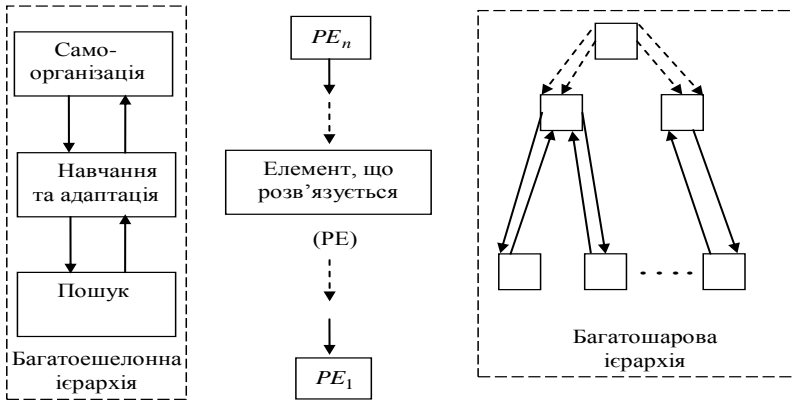


Рис. 5.2. Структура прийняття рішення в складній системі

З урахуванням особливостей та закономірностей складних систем можна визначити загальні риси задач та роль підсистем в рамках ієрархічної системи[15]:

1. Елемент верхнього рівня завжди має справу з більш крупними підсистемами, або з більш широкими аспектами поведінки системи в цілому. При багатошаровій ієрархії елемент "верхнього рівня" є командним по відношенню до двох і більше елементів, а його рішення координує роботу цих елементів у відповідності до мети для сукупності всіх підпорядкованих йому елементів. Для концепції шарів елементи верхнього рівня відповідають за поведінку системи на протязі більш тривалих відрізків часу. Щоб отримати інформацію, потрібну для зменшення невизначеності, шар навчання повинен проводити спостереження на протязі ряду періодів прийняття рішень на першому шарі. Для зміни структури стратегії прийняття рішень третій шар (шар самоорганізації) повинен спостерігати за діями нижніх шарів на протязі ще більшого періоду часу, тому що для оцінки якості стратегії навчання її необхідно випробувати принаймні кілька разів.

Аналогічно – для концепції страт: система на будь-якому рівні утворюється з підсистем нижніх рівнів, і тоді більш висока страта має справу з більш загальним аспектом поведінки всієї

системи.

2. Період прийняття рішення для елемента верхнього рівня більший, ніж для елементів нижніх рівнів. Для концепції шара та страти це очевидно, а для концепції ешелона це означає: управління від вищого елемента не можуть поступати частіше діянь, які видають нижні елементи, поведінка яких кординується вищим. У протилежному випадку не можна оцінити бажаний ефект (координації).

3. Елемент верхнього рівня має справу з більш повільними аспектами поведінки всієї системи. Це означає, що верхні рівні не можуть реагувати на такі зміни в навколишньому середовищі чи в самому процесі, які відбуваються швидше змін, з якими мають справу нижні рівні, бо останні реагують швидше, мають справу з більш частими, локальними змінами.

Наприклад, якщо на систему діють сигнали, різної частоти, то всю множину F можна розбити на підмножини $F_1...F_n$, а на кожному (i -тому) шарі елементи реагують лише на частоту F_i .

4. Описи та проблеми на верхніх рівнях менш структуровані, мають більше невизначеностей та більш важкі для кількісної формалізації. При прийнятті рішень на верхніх рівнях можна застосовувати наближені методи, але тоді точність знижується і результати будуть мати низьку цінність.

Для кожного рівня є свій специфічний набір засобів для розв'язання задач, методів та алгоритмів. Наприклад, на:

- шарі вибору – управління із зворотнім зв'язком, чисельні методи оптимізації;
- шарі адаптації – статистичні методи та розпізнавання образів
- шарі самоорганізації – евристичні методи (такі, що не мають точних алгоритмів вирішення за допомогою технічних засобів).

В задачах верхнього шару важко забезпечити простий чисельний розв'язок, тому тут використовується “втручання в критичних ситуаціях”, тобто оцінюють загальну характеристику та вносять структурні зміни лише тоді, коли характеристики погіршуються настільки, що зміни стають необхідними.

Складні взаємозв'язки між рівнями викликані також обме-

женою “продуктивністю” елементів, що приймають рішення. Тоді обов’язково виникає багато ешелонна система, а елементи верхніх рівнів повинні витратити більше часу на пошук рішень свого рівня

5.4. Інформаційні аспекти системного аналізу ССУ

З точки зору системного аналізу для ОПР важливо, щоб одержувана інформація мала мінімум таких властивостей, як неповнота, недостовірність, несвоєчасність тощо. Тому як вихідні поняття для визначення інформованості ОПР візьмемо властивості інформації, протилежні наведеним.

Повнота інформованості – властивість, що характеризує відповідність кількості одержуваної ОПР інформації тій, яка потрібна для прийняття рішення.

Своєчасність інформованості – властивість, що визначає, наскільки ресурс часу ОПР на формування і прийняття рішення відповідає ресурсу часу від моменту одержання інформації до моменту реалізації рішення.

Достовірність інформованості – властивість, яка характеризує відповідність одержаної ОПР інформації реальному стану наявної ситуації.

Об’єкт дослідження: складна СУ технологічним процесом (об’єктом)

Предмет дослідження: інформаційна система керування складним об’єктом.

Тому при інформаційному аналізі складної системи управління необхідно:

1. Сформуванати інтегральний показник інформованості, що враховуватиме ступінь і рівень впливу кожного із показників (повнота I_{Π} , достовірність I_{Δ} і своєчасність I_T інформованості) на ступінь досягнення цілей ОПР.

2. Запропонувати класифікації заданої множини ситуації за єдиною системою взаємозалежних показників I_{Π} , I_{Δ} і I_T , або за єдиним інтегральним показником інформованості.

3. Розробити прийоми і процедури розпізнавання належності певної ситуації S_K із заданої множини ситуацій S_O до певного класу об'єктів із уведеної класифікації.

4. Розробити прийоми і методи оцінювання ступеня та рівня ризику для різних типів ситуацій.

5. За умов виникнення заданої множини ситуацій запропонувати прийоми і процедури зниження ступеня та рівня ризику на основі раціональної стратегії інформованості ОПР у процесі формування рішення.

Розділ 6. СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

6.1. Особливості складних систем

Можна виділити різні ознаки технологічних комплексів (ТК) як складних систем управління (ССУ), але головними є ті, які характеризують як деякі кількісні сторони, наприклад, кількість елементів, так і якісні. Відомий підхід, коли *складною системою називають таку, математичні моделі якої можна описати принаймні двома способами (детерміновані та стохастичні, теоретико-ймовірнісні тощо)*. Для ТК при характеристиці їх як ССУ виділяють такі ознаки: та

- кількість підсистем, особливо це має значення для безперервних ТК. Ці підсистеми, зв'язані між собою складними структурними та функціональними відношеннями;
- можливість управління підсистемами на основі різних оптимальності;
 - існування для підсистем задач оперативної оптимізації та необхідність координації роботи підсистеми;
 - наявність ієрархічної структури;
 - необхідність урахування автономності підсистем.

Аналіз ТК як складних систем передбачає визначення та оцінку їх структури, оцінку матеріальних та енергетичних потоків, формуванні необхідних інформаційних визначень, що дає можливість визначити структуру управління. При побудові автоматизованих ТК визначається кількість підсистем, розташування точок отримання інформації, розташування пунктів управління та технічна реалізація системи.

6.2. Класифікації ТК як складних систем

Класифікація може виконуватись за різними ознаками, але вона повинна бути такою, щоб виділити окремі групи (класи) із спільними характерними ознаками.

- *За продуктивністю*: велико-, середньо- та малопотужні чи продуктивні. В промисловості все більше застосовуються тех.-нологічні апарати великої одиничної потужності, які можуть

замінювати групу апаратів, виділяється середня продуктивність, а велико- та малопродуктивні мають відрізнитись у два і більше разів.

- *За способом функціонування*: неперервні, безперервно-періодичні, безперервно-циклічні та періодичні.

- *За кількістю виконуваних функцій*: одно- та багатofункціональні або одно- та багатонomenclатурні (-асортиментні).

- *За кількістю ланок*: мало- та багатоланкові.

- *За однорідністю*: однакові або різні ланки чи підсистеми.

- *За способом з'єднання технологічних ланок (технологічною топологією)*: однонаправлені або зустрічноспрямовані (із зворотними зв'язками) і комбіновані.

- *За цільовою функцією* (критерієм оптимізації): усі підсистеми можуть мати однакові або різні критерії;

- *За характеристиками середовища*: рідина, газ...

Для розробки КІСУ, а також систем автоматизації на різному рівні важливим є ще такі ознаки ТК:

- інформаційна потужність, яка характеризує величину інформаційних потоків, тобто визначає характеристики необхідних технічних засобів та їх програмного забезпечення для отримання інформації, її обробки та подання в необхідному вигляді в необхідне робоче місце в певний час. Інформаційна потужність визначається кількістю змінних, які необхідні для управління та контролю ТК: мала потужність до 40 змінних, середня - до 160 змінних, підвищена - до 650 змінних, велика - більше 650 змінних. ТК цукрового заводу, наприклад, має 384 точки контролю та 217 точок управління; спиртовий завод - 501 точка контролю і 132 точки управління.

- за кількістю підсистем, для яких існує і необхідна задача оптимізації виділяються лише ті підсистеми, для яких є відповідні ресурси, а досягнення найвищих техніко-економічних показників для підсистем співпадає з критерієм ТК у цілому;

- за кількістю підсистем, які координуються (узгоджуються) є ТК, для яких робота n -ої підсистеми потребує зміни умов роботи $(n-1)$ -ої і $(n+1)$ -ої підсистем;

- за трудомісткістю задач оптимізації та координації є комплекси, в яких задача оптимізації вимагає значного часу розв'язання і значних обчислювальних потужностей, такі підсистеми координуються важко.

6.3. Системний аналіз ТП як об'єктів керування

При дослідженні технологічних процесів із позицій задач управління використовуються основні прийоми системного аналізу (системного підходу):

- постановка задачі дослідження;
- вибір критеріїв якості;
- розробка плану експерименту з виділенням основних етапів;
- виконання принципу ієрархії зверху вниз при аналізі та знизу вверху при синтезі складних систем та ін.

З позицій системного аналізу розв'язуються задачі моделювання, оптимізації, управління та оптимального проектування хіміко-технологічних систем (ХТС) в масштабах ТК, відділення, цеху, заводу. Для цього використовуються відповідні математичні моделі.

Умовно неподільними одиницями ТК є технологічний процес (ТП) - нижній рівень ієрархії виробництва. В той же час можлива подальша деталізація цих одиниць до рівня фізико-хімічних ефектів та явищ, що дозволяє, в свою чергу, розглянути окремих хіміко-технологічний процес як складну систему. Важливо розуміти, що одиничний хіміко-технологічний процес із його складним комплексом елементарних фізико-хімічних явищ - типова велика (складна) система в смислі її класичного кібернетичного визначення. Рівень складності цієї системи визначається:

- величезною кількістю (розмаїттям) фізико-хімічних ефектів;
- насиченням взаємних зв'язків між цими ефектами;
- одночасним протіканням та взаємозв'язками між різними явищами фізико-хімічної природи в локальних об'ємах;
- нелінійними залежностями між змінними параметрами тощо.

При системному аналізі виробництва (підприємства) як великої (складної) системи виділяють, як правило, три рівні:

- типові технологічні процеси в апаратурному оформленні (механічні, гідродинамічні, тепло-масообмінні, дифузійні, хімічні...) та локальні системи управління ними;
- ТК, відділення, цехи з відповідними системами управління;
- виробництво, підприємство та системи оперативного управління, організації виробництва, планування, матеріально-технічного постачання, реалізації продукції.

При системному підході створюються автоматизовані системи для оперативного отримання математичних моделей, ідентифікації.

Системний підхід при створенні складних структур управління проявляється в таких підходах:

- Будь-яка система на першому етапі розглядається з урахуванням лише формальних зв'язків між різними факторами та оцінки характеру їх зміни під впливом зовнішніх умов. Теорія систем своїм об'єктом досліджень має не фізичну реальність, а загальні властивості та зв'язки між різними факторами. При зростанні складності СУ для їх аналізу та синтезу необхідно застосовувати знання з різних наук.

- Система завжди досліджується в умовах невизначеності (мети, характеристик зовнішнього середовища та поведінки оператора). Важливо забезпечити в системі адаптацію та можливість розвитку.

- Складність систем управління, їх інформаційна потужність вимагає залучення деяких спеціальних прийомів, наприклад, декомпозиції та агрегування.

- У складних системах управління (ССУ) завжди використовуються структурні перетворення.

- В загальній теорії систем повинні використовуватись терміни, методи, поняття та прийоми, які є зрозумілими для інших наукових дисциплін (інформатика та автоматика, вони повинні спілкуватись спільною мовою).

- В теорії систем застосовуються уніфіковані поняття, які дають можливість охарактеризувати як систему будь-якої складності, так і будь яку її частину.

За основними ознаками автоматизовані технологічні комплекси (АТК) та комп'ютерно-інтегровані системи управління (КІСУ) - складні системи, тому при розв'язанні задач аналізу та синтезу використовуються методи та прийоми системного аналізу: визначення ієрархій, застосування методів декомпозиції та агрегування.

Об'єктом для складних систем управління є технологічний комплекс, виробництво чи підприємство в цілому. В цьому випадку розглядаються рівні ієрархії: типовий технологічний процес, дільниця, цех, виробництво (завод), підприємство.

Автоматизований технологічний комплекс включає дві основні частини: об'єкт та система управління. Особливістю системного підходу є формування структури та характеристик об'єкта, а також синтез системи управління для сформованого об'єкта. Це стосується комплексу задач, зокрема виділення підсистем, визначення точок-джерел інформації, керуючих впливів, оцінки якості процесу функціонування тощо.

На рис. 6.1 показано узагальнений алгоритм розробки АТК[14]. Зміст основних етапів умовно показано у вигляді послідовності дій, при цьому може бути різна степінь деталізації на кожному етапі. Головна особливість системного підходу при аналізі і синтезі складних систем - необхідність ітерацій, тобто повернення етапів, процедур та операцій з новими даними.

На рисунку наявність ітерацій умовно показано стрілками, наприклад після оцінки науково-технічного рівня АТК може виникнути необхідність повернутись на попередні етапи та уточнити критерії управління, чи структуру АТК.

Аналогічний підхід використовується при аналізі та синтезі КІСУ з урахування таких особливостей: визначення кількості та рівнів робочих місць, кількості та рівнів обчислювальних мереж. Ці задачі розглядаються в спеціальних дисциплінах.

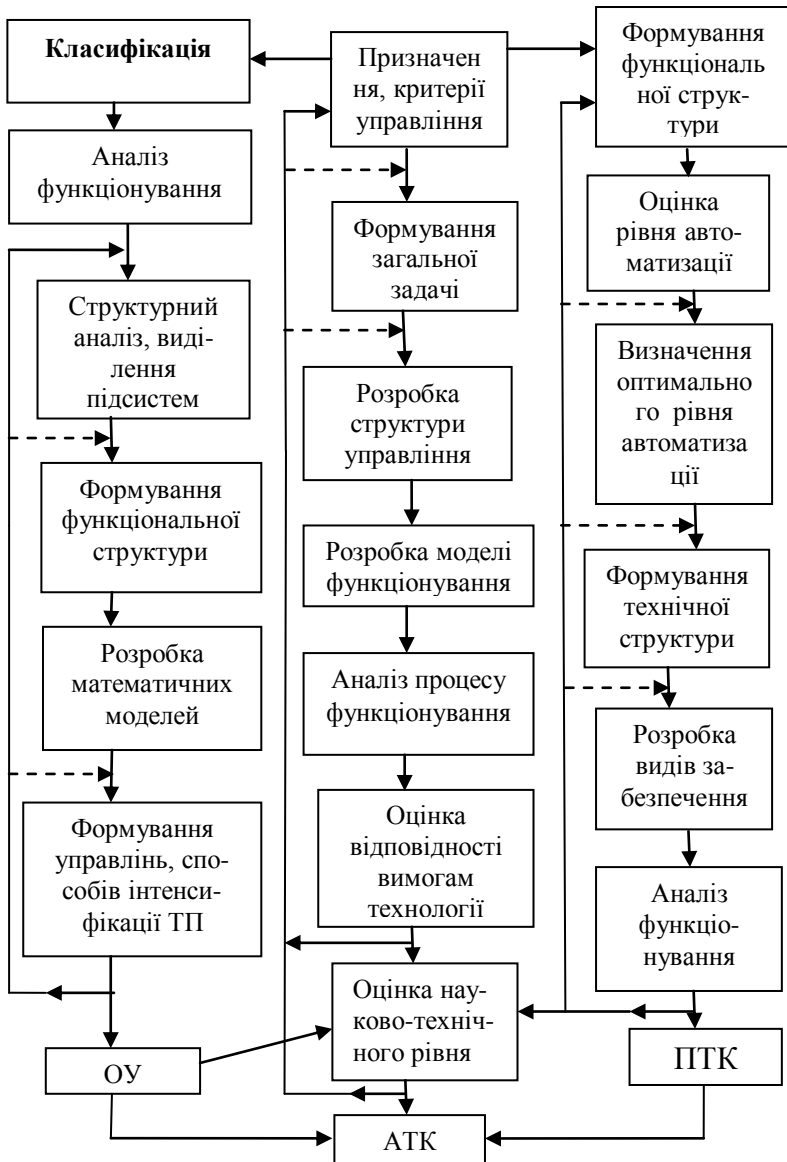


Рис. 6.1. Загальна структура процедур при створенні АТК

6.4. Структурний аналіз складної системи управління

Для складних систем управління аналізується організаційна, функціональна і технічна структура. Ці структури можна розглядати, як певні моделі, які відображають функції та цілі, які стоять перед системою. В першу чергу враховують ієрархічність системи, тому ці структури завжди будуть багаторівневими. Ця багаторівнева структура допомагає на різних рівнях розглядати з різною деталізацією властивості системи та її складові. Структуру складної системи можна представити таким чином (рис. 6.2):

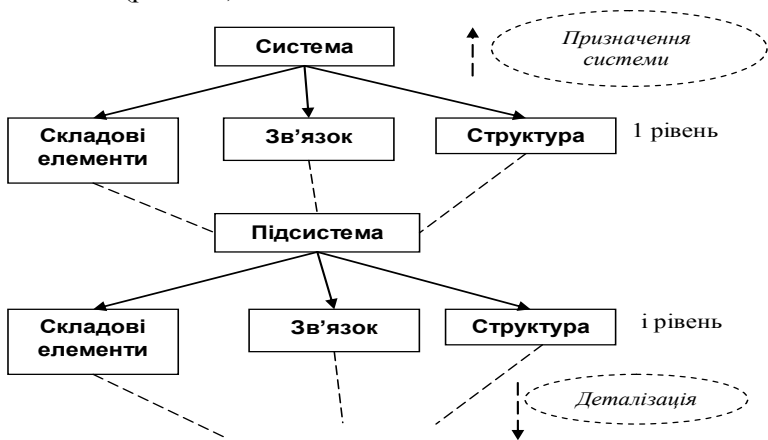


Рис. 6.2. Багаторівневе представлення структури ССУ

Для кожної системи можна поставити у відповідність множину структур із різною кількістю рівнів деталізації, що визначається призначенням структури і самою системою. При переміщенні на нижні рівні деталізація завжди збільшується, але призначення системи стає зрозумілим тільки при переміщенні на верхній рівень. Існують системи структуровані (добре структуровані), слабоструктуровані і неструктуровані (мало структуровані). У відповідності до цього для кожного класу систем отримують відповідні математичні моделі. В структурному ана-

лізі виділяють прийоми декомпозиції і агрегування. Декомпозиція дозволяє цілеспрямовано виділити підсистеми, агрегування ж, навпаки, дозволяє об'єднати підсистеми, щоб утворити технологічний об'єкт управління із заданими якостями. В результаті структурного аналізу приймається рішення відносно архітектури системного управління, розташування особливих точок (датчики, регулюючі органи, робочі місця).

Для складного об'єкта керування виконуються дві основні процедури[18]:

- цільова декомпозиція за визначеними напрямками;
- формування структури з виділених структурних елементів.

Умовно структурна схема об'єкта представляється як результат декомпозиції за трьома напрямками. Результатом декомпозиції складної системи є:

$$S_{i,m,j,k}^{s,l,e} = S_i^s \cap S_m^l \cap S_{jk}^e,$$

де S_i^s – сукупність елементів і-тої функціональної сфери підприємства (страта);

S_m^l – сукупність елемента контуру управління, який забезпечує m-рівень складності рішень, що приймаються;

S_{jk}^e – сукупність елементів організаційної структури k – того підрозділу j – того рівня управління (ешелон).

Для кожного елемента тривимірного простору декомпозиції при визначеній меті управління справедлива умова:

$$S_{i,m,j,k}^{s,l,e} = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ якщо існує для елемента} \\ \text{задача управління, яка} \\ \text{реалізує частинну мету} \\ 0, \text{ в протилежному випадку} \end{array} \right\},$$

Такий підхід дозволяє виділити всі структурні елементи об'єкта, які беруть участь в реалізації заданої цільової функції, та розглянути доцільність охоплення цих структурних елементів створюваною системою управління (з урахуванням можливості формалізації задач управління, наочності засобів спряження з об'єктом тощо).

Стратифікація об'єкта управління. Розглянемо стратифікацію промислового підприємства. В складі об'єкта управління можна виділити такі основні функціональні сфери, або страти.

1. Техніко-економічне планування (S_1^s).
2. Кадри (S_2^s).
3. Праця та зарплата (S_3^s).
4. Фінанси (S_4^s).
5. Матеріально-технічне постачання (S_5^s).
6. Реалізація (збут продукції) (S_6^s).
7. Реконструкція та реінжинірінг (S_7^s).
8. Виробництво (S_8^s).

Наведемо приклад стратифікації такого об'єкта керування, як висотна будівля:

1. Житлові, офісні та службові приміщення (S_1^s).
2. Технічні поверхи (S_2^s).
3. Система поточного контролю стану фундаменту, деформацій несучих конструкцій та коливань висотної споруди (S_3^s).
4. Система рятування людей у випадку екстремальних ситуацій (S_4^s).
5. Система водопостачання та каналізації (S_5^s).
6. Система опалення та вентиляції (S_6^s).
7. Система енергозабезпечення (S_7^s).
8. Система пожежної безпеки (S_8^s).
9. Кадри (обслуговуючий персонал та особи, що приймають

рішення – ОПР) (S_9^s).

10. Система контролю і управління доступом (S_{10}^s).

11. Система діагностики систем безпеки (S_{11}^s)

Тоді загальна мета управління записується як об'єднання функцій керування відповідних функціональних сфер:

$$Q = \bigcup_{i=1}^{10} Q_i,$$

де Q_i – функція керування певною функціональною сферою (S_i^s).

При такій декомпозиції може виявитися, що ряд страт не бере участі у досягненні поставленої мети, тобто не має значення для майбутньої системи управління. Але для досягнення такої мети, як, наприклад, *max* прибутку (або *min* собівартості), необхідним є охоплення системою управління всіх структурних елементів об'єкта, які приймають участь у формуванні прибутку, тобто необхідна *інтегрована* система. А такі показники, як *min* витрат, *max* випуску продукції, зниження витрат енергії формуються саме в результаті управління сферою.

Декомозиція за рівнями складності рішень, що приймаються. Головна особливість полягає в тому, що:

- складна система вимагає оперативних рішень в реальному часі;
- складність ситуації потребує значного часу для аналізу та формування стратегії поведінки.

Вихід – багат шарова ієрархія системи прийняття рішень для управління складним об'єктом. Проблема розбивається на під проблеми таким чином, щоб розв'язання сукупності під-проблем призводило до розв'язання проблеми в цілому.

Можна виділити такі шари за складністю рішень, що приймаються:

- регулювання, контроль для окремих технологічних агрегатів (нижній рівень);
- координація першого рівня в межах технологічної підсистеми на рівні;

- координація другого рівня: управління вищої підсистеми для узгодження локальних цілей нижніх підсистем в межах (цеху, відділення, дільниці, поверху);

- координація третього рівня: узгодження цілей між цехами, дільницями, відділеннями, поверхами;

- координація четвертого рівня – узгодження цілей між окремими виробництвами (заводами) в межах підприємства.

Декомпозиція за організаційною ознакою. Організаційна структура підприємства відображає розподілення процесів у функціональних сферах (стратах) між її елементами. Для кожної страти можна поставити у відповідність свою кількість рівнів прийняття рішень і свою кількість елементів, я кількість підсистем у кожному елементі залежить від обраного критерія декомпозиції.

Кількість підсистем в першому ешелоні визначається результатом декомпозиції процесу на самостійні елементарні оператори типу “вхід-вихід”. Це призводить до великої кількості підсистем контролю і управління на локальному рівні. На наступному рівні управління кількість підсистем залежить від топології виробничого та технологічного комплексів та зв’язків між операторами процесу.

Аналогічно можна виділити кількість підсистем в третьому та четвертому ешелонах. Кількість підсистем k в ешелоні j -го рівня визначається ретельним дослідженням кожного об’єкта. Функціональна структура описується графом[15]:

$$W(F, U)$$

де F - функції;

U - інформаційні зв’язки між ними. Зв’язок між об’єктом управління та системою управління можна визначити за допомогою певних процедур:

$$\bar{\Gamma} \cdot (\bar{M}, \bar{A}) \xrightarrow{R_5} W(F, U) \xrightarrow{R_6} G(V, B),$$

де $\bar{\Gamma} \cdot (\bar{M}, \bar{A})$ - конденсація орграфа структури об’єкта

керування;

M – множина технологічних елементів;

A – множина зв'язків між ними;

$G(V, B)$ – оргграф технічної структури системи управління;

V – функціональні елементи (множина);

B – множина зв'язків між ними.

6.5. Моделювання технічної структури складної системи

Таку модель можна отримати, якщо використовувати орієнтовані графи, тоді граф технічної структури записується як $G(V, B)$, де V – множина функціональних елементів $V_i \subset V$, B -множина зв'язків між ними, $B_i \subset B$. Тоді для кожної підсистеми можна записати, що $G_i(V_i, B_i)$ – оргграфи технічної структури. При перетвореннях використовують такі операції наорієнтованих графах:

якщо задано

$$G_1(V_1, B_1); G_2(V_2, B_2)$$

то їх об'єднаннямбуде

$$G_1(V_1, B_1) \cup G_2(V_2, B_2) = G_3(V_3, B_3)$$

при цьому:

$$V_3 = V_1 \cup V_2, B_3 = B_1 \cup B_2$$

операція перетину:

$$G_1(V_1, B_1) \cap G_2(V_2, B_2) = G_3(V_3, B_3)$$

$$V_3 = V_1 \cap V_2, B_3 = B_1 \cap B_2$$

різниця орієнтованих графів:

$$G_1(V_1, B_1) \setminus G_2(V_2, B_2) = G_3(V_3, B_3)$$

$$V_3 = V_1 \setminus V_2, B_3 = B_1 \setminus B_2$$

Для автоматизованих ТК при описі технічної структури

необхідно включити також множину технологічних елементів, тобто технологічного обладнання. Тоді орієнтований граф технічної структури АТК буде подаватись:

$$O(I, Q) = \Gamma(M, A) \cup G(V, B),$$

де $\Gamma(M, A)$ – орієнтований граф технологічного об'єкта правління. При цьому M – множина технологічних об'єктів, A – зв'язки між ними;

$G(V, B)$ – оргграф системи управління. При цьому необхідно враховувати, що перетин графів

$$\Gamma(M, A) \cap G(V, B) = \emptyset$$

не пуста множина.

Графові моделі технічної структури складної системи управління.

Якщо система реалізує множину функцій $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$, то кожен з функцій можна представити як відображення в підсистемі за h маршрутами $\{M : (x; y) \mid i = 1, \dots, h\}$ (M – множина технологічних елементів в ТК) показників вхідної інформації в показники вихідної $x \in X_j \subset X$ – модулі-джерела інформації про об'єкт, $y \in Y_j \subset Y$ – модулі-приймачі інформації, $j = 1, \dots, m$. Тоді модель функціональної підсистеми:

$$G_j(V_j, B_j) = U_h M_i(X, Y)$$

$$G_j(V_j, B_j) = U_h M_i(X, Y) \neq \emptyset,$$

$$i = 1, \dots, h; j = 1, \dots, m, x \in X_j, y \in Y_j,$$

Структура вузла управління системи – сукупність функціональних елементів V_j та зв'язків між ними B_j , а спосіб їх організації диктується реалізуємою підсистемою функціями і цілями. Вузол управління реалізує q ($q \in m, q \geq 1$) функцій із заданими показниками якості.

Будь-яка система чи підсистема формалізована моделями "вхід-вихід"-розв'язувальна система. Тоді завжди є розв'язувальні елементи. В першому наближенні число вузлів управління визначає степінь розподіленості ТС системи.

Модель вузла управління (його ТС):

$$G_\rho(V_\rho, B_\rho) = \bigcup_q G_j(V_j, B_j) = \bigcup_q \bigcup_h M_{ij}(x, y) \bigcap_\rho,$$

$$G_j(V_j, B_j) = \bigcap_q \bigcap_h M_{ij}(x, y) \neq \emptyset; j = 1, \dots, q; i = 1, \dots, h$$

$$q \in m; x \in X_j; y \in Y_j; V_\rho = \bigcup_q V_j; B_\rho = \bigcup_q B_j$$

Тоді модель ТС системи управління:

$$G(V, B) = \bigcup_\rho G_\rho(V_\rho, B_\rho) = \bigcup_\rho \bigcup_q G_{ij}(V_{j\rho}, B_{j\rho}) = \bigcup_\rho \bigcup_q \bigcup_h M_{ij\rho}(x, y);$$

$$\bigcap_\rho G_\rho(V_\rho, B_\rho) = \bigcup_\rho \bigcup_q \bigcup_h M_{ij\rho}(x, y) \neq \emptyset,$$

$$V = \bigcup_\rho V_\rho = \bigcup_\rho \bigcup_q V_{j\rho}; B = \bigcup_\rho B_\rho = \bigcup_\rho \bigcup_q B_{j\rho};$$

$$i = 1, \dots, h, j = 1, \dots, q, \rho = 1, \dots, \rho, q \in m$$

P – число вузлів управління;

q – кількість реалізуємих підсистемою функцій із заданими показниками якості;

h – маршрути перетворення вхідної інформації у вихідну;

m – кількість функцій системи.

Наведені моделі:

- наочні, добре відображають конфігурацію системи та зв'язки між елементами і їх групами;

- при відомій важливості окремих елементів можна визначити значення показників якості системи з урахуванням способів з'єднання елементів;

- дозволяють перетворити графові представлення в матричні еквіваленти (матриці суміжності, дистанційні матриці...);

- в той же час ці моделі громіздкі і не завжди зручні.

6.6. Декомпозиція технічної структури складних систем управління

Коли створюється розподілена СУ, то розв'язуються задачі:

- визначається оптимальна кількість вузлів управління та їх розташування;
- розподіляються функції управління між підсистемами ТК та вузлами управління так, щоб вартість технічних засобів, завантаження вузлів не перевищували заданих значень;
- встановлюються зв'язки між вузлами управління, виходячи з показників живучості;

Орграф $G(V, B)$ для централізованої СУ аналізується з метою визначення доцільності розподіленої системи. Кожній вершині $v \in V$ приписується вага, яка відповідає вартості функціонального пристрою $\{S_i^T \mid i = 1, \dots, w\}$, а кожній дузі $e \in B$ вага, яка дорівнює довжині відповідної лінії зв'язку $\{\ell(ij) \mid ij \in I\}$ та Ω – множини індексів вершин та дуг в орграфі $G(V, B)$, а $\ell(ij)$ не перевищує певного значення

Припустимо, що на об'єкті виділено $\Pi = \{\pi_1, \dots, \pi_\rho\}$ місць, де можна розмістити вузли управління системи. Тоді задача декомпозиції полягає в розбитті орграфа $G(V, B)$ на ρ підграфів $\{G_i(V_i, B_i) \mid i = 1, \dots, \rho\}$ таким чином, щоб сума ваг всіх дуг в новому орграфі $\Phi(\bar{V}, \bar{B})$ була мінімальною, а сума ваг вершин $S^T \leq S_{\text{дон}}^T$. При цьому завантаження (пропускна спроможність) елемента $q \in V, B$ не повинна перевищувати максимального значення $R_q \leq R_{q \text{ max}}$.

Під живучістю розуміють чутливість структури системи до пошкоджень. Це можна оцінити як мінімальну кількість вершин, видалення яких руйнує всі шляхи в орграфі $G(V, B)$ і робить систему непрацездатною.

Декомпозиція орграфа $G(V, B)$ зводиться до задачі лінійного призначення:

$$\min L = \min \sum_{ij \in I} L(ij),)$$

$$\rho \leq 2; S^T \leq S_{don}^T; \ell(ij) \leq \ell(ij)_{don}; v \geq v_{don}; R_q \leq R_{q_{max}}; q \in V, B$$

де S –вартість функціонального пристрою;

v – показник живучості;

R – завантаження елементами;

ρ – число вузлів управління.

Розділ 7. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ

7.1. Методика проектування та розвитку системи керування підприємством

Проблема розробки систем управління підприємствами, організаціями, регіонами є однією з перших, для вирішення якої стали застосовувати методи і моделі системного аналізу. В умовах переходу до ринкових принципів економіки, рівноправності всіх форм власності в багатуокладної системи господарювання значущість цієї проблеми зростає і стає актуальною методична та автоматизована підтримка процесу проектування (адаптації, розвитку) підприємств, науково-дослідних організацій та інших соціально-економічних об'єктів і систем організаційного управління ними.

Система організаційного управління (СОУ) підприємством або будь-якою організацією, у тому числі непромислової сфери, повинна забезпечувати адаптацію підприємств (організацій) до середовища, що постійно змінюється, збереження їх цілісності при наданні свободи розвитку суб'єктам виробничої (або іншої) діяльності, яка сприяє підвищенню ефективності їхньої праці, тобто забезпечувати існування підприємства (організації) як самоорганізуючої системи.

Складність проблеми проектування системи організаційного управління обумовлена необхідністю пошуку компромісу між цілісністю подання складного об'єкта і деталізацією опису його компонентів у процесі розробки та реалізації проекту. Цю проблему можна вирішити за допомогою сімейства моделей, що об'єднуються багаторівневою методикою, яка базується на стратифікованому представленні процесу проектування (див. п.п. 4.4, 6.4)

Страти можна виділяти при послідовному перетворенні уявлень про систему в процесі проектування, при цьому можна виділити такі рівні абстрагування - від задуму (концепції) до матеріального втілення[4]:

теоретико-методологічний або концептуальний - для орга-

нізаційних систем цей рівень зазвичай завершується розробкою статуту підприємства, концепції його перспективного розвитку;

науково-дослідний - в результаті НДР вибираються і пропонуються теоретичні та прикладні моделі, що дозволяють провести необхідний аналіз для виконання подальших проектних робіт;

проектний - завершується визначенням комплексу методів і засобів вирішення проблеми;

інженерно-конструкторський - для організаційних систем цей рівень завершується розробкою структур, програмних засобів;

технологічний - розробка організаційно-технологічних процедур підготовки та реалізації проектних і управлінських рішень, розробка інформаційної технології реалізації програмних продуктів;

матеріальне втілення, реалізація системи для організацій - це комплекс нормативно-технічних та нормативно-методичних документів, які забезпечують реалізацію прийнятих проектних або управлінських рішень, тобто положення, методика, інструкції, стандарти та інші нормативні документи. У варіанті методика для конкретної організації деякі страти можуть бути об'єднані (наприклад, проектний та інженерно-конструкторський рівні).

Шлях від задуму системи до її реалізації, який проходить в процесі проектування будь-яка система, може бути дуже тривалим. При цьому різні складові СОУ, порядок розробки яких може бути представлений послідовно і паралельно виконуваними етапами і підетапами, можуть проходити цей шлях неодноразово. У цій ситуації методика, яка пропонується, дозволить зберігати цілісне уявлення про СОУ та процес її проектування.

При розвитку СОУ будь-яке нововведення або комплекс нововведень в управлінні проходить такий же шлях, і методика також допомагає в плануванні процесів їх впровадження, обговоренні результатів, вирішенні протиріч, що виникають через змішування понять різних страт, які часто проявляється на практиці

Після виділення страт на кожній з них визначається послідовність етапів і обираються методи, моделі, методики їх реалізації. При визначенні етапів, тобто структуризації СОУ, можуть використовуватися методики, що базуються на різних концепціях системи.

При виборі методів слід враховувати особливості об'єкта, для якого проектується система організаційного управління, ступінь поінформованості про нього на початковому етапі проектування, наявність аналогів і можливість запозичення готових моделей і автоматизованих процедур. У процесі розробки методики необхідно обґрунтувати вибір методів для основних етапів і навести приклади реалізації цих методів.

7.2. Аналіз факторів, що впливають на створення та функціонування підприємства

Для забезпечення повноти аналізу факторів, що впливають на створення і функціонування підприємства, доцільно використовувати *закономірність комунікативності*, відповідно до якої у складі складного середовища, що ініціює фактори, виділяються[4]:

- *надсистема*, що визначає вимоги до проектованої СОУ, яка обмежує її діяльність і споживає результати цієї діяльності;
- *повідомчі системи*, що забезпечують діяльність розглядуваної СОУ матеріальними, кадровими, інформаційними та іншими ресурсами;
- системи, що знаходяться у рівноправних відносинах з проектованою СОУ, - *актуальне або суттєве середовище*, в якому можна виділити дружнє, конкурентне та байдуже;
- внутрішнє середовище *власне системи*, яка існує в самоорганізованих системах у формі ініціатив активних елементів або створюваних ними перешкод.

Для забезпечення повторюваності процесу виявлення факторів і накопичення досвіду різних експертів слід використовувати автоматизовану діалогову процедуру аналізу факторів (АДПАФ), яка дозволяє опитувати експертів і, узагальнюючи результати опитувань, накопичувати все більш

повний перелік факторів, що є основою для подальшої їх оцінки та аналізу.

Сутність будь-якого поняття інформаційної моделі можна представити як функцію (або як сукупність) ряду складових, що характеризують зміни вихідної власної сутності цього поняття:

$$H = f(H_n, H_\tau, H_L),$$

де H_n – вихідна власна сутність фактору, яка обернено пропорційна об'єму поняття n про цей фактор, тобто:

$$H_n = \frac{J}{n},$$

де J – інформація про фактор;

H_τ – сутність процесу зміни (еволюції) поняття про фактор, яка обернено пропорційна змінв n у часі:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{1}{\tau},$$

тобто

$$H_\tau = \tau \frac{dJ}{dt},$$

де dJ/dt – зміна інформації у часі;

n – константа, яка характеризує конкретну систему (фактор) у даний період її розвитку, яка називається інформаційним опором;

H_L – сутність зміни еволюції поняття про фактор, яка пропорційна зміні еволюції об'єму поняття:

$$\frac{d^2 n}{dt^2} = \frac{1}{L},$$

можна записати, що

$$H_L = L \frac{d^2 J}{dt^2},$$

де L – стійкість впливу фактору, опір його змінам.

Таким чином, можна записати

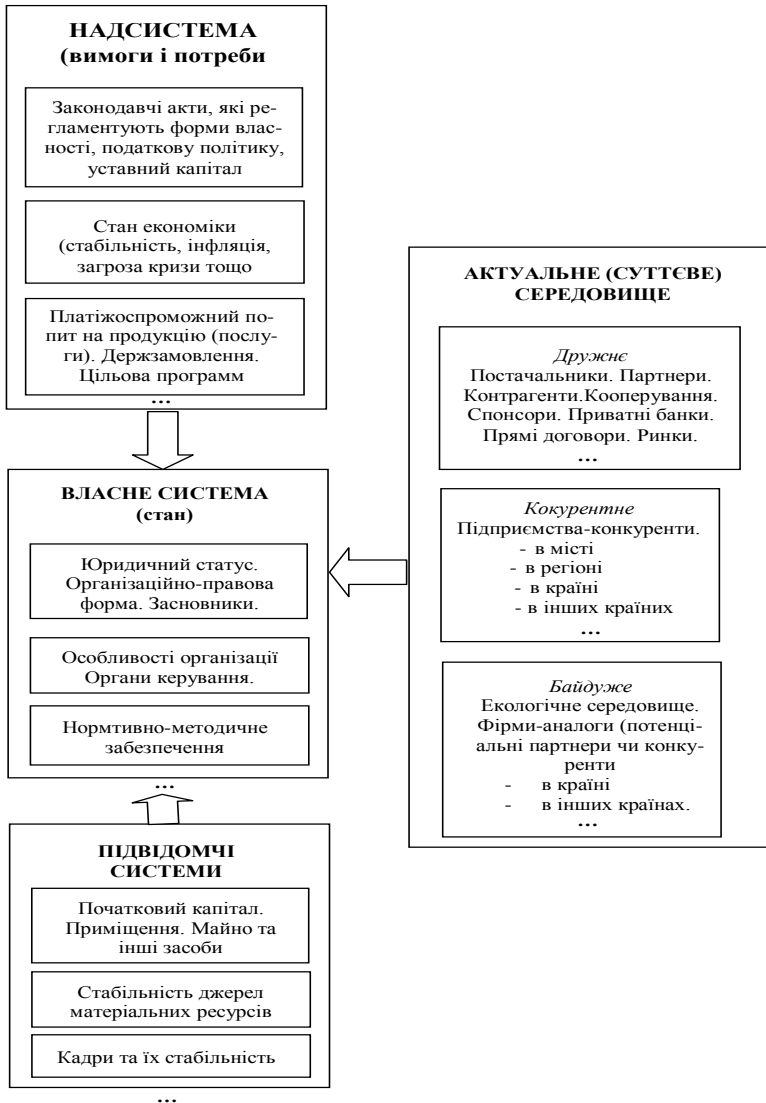


Рис. 7.1. Фактори, що впливають на створення та функціонування підприємства

$$H = f\left(\frac{J}{n}, \tau \frac{dJ}{dt}, L \frac{d^2 J}{dt^2}\right). \quad (7.1)$$

Приклад формулювань факторів, які отримані із використанням (7.1), наведений в табл. 7.1.

Таблиця 7.1.

Приклад формулювань факторів, що впливають на створення та функціонування підприємства

<i>H_n</i>	<i>H_τ</i>	<i>H_L</i>
1. Наявність початкового капіталу	Можливість отримання початкового капіталу (τ - термін зміни початкового стану фактора)	Можливість розширення (прискорення накопичення) капіталу
2. Наявність приміщення для підприємства	Можливість придбання або отримання в оренду приміщення для підприємства (із зазначенням термінів)	Можливість розширення приміщення (площ) для підприємства (із зазначенням прискорення розширення)
3. Номенклатура продукції (послуг)	Оновлення номенклатури продукції (із зазначенням термінів)	Швидкість оновлення (прискорення зміни) номенклатури продукції (послуг)
4. Обсяг продукції, що випускається (за видами виробів)	Зміна обсягу продукції, що випускається (кг / міс., М / міс., Грн. / рік і т.д.)	Швидкість зміни обсягу випуску продукції (за видами виробів)
5. Наявність кадрів	Необхідність (можливість) розширення кадрового складу (за спеціальностями)	Необхідність (можливість) прискорення розширення кадрового складу (за спеціальностями)

Фактори можуть впливати один на одного, що також можна відобразити в моделі аналізу факторів, при цьому необхідно ввести відповідні характеристики n , τ та L , що характеризують вплив i -го фактора на j -й.

При аналізі чинників використовуються методи організації складних експертиз: експертні процедури методики ПАТТЕРН, метод розв'язуючих матриць Г.С.Поспелова, метод багаторівневих багатокритеріальних оцінок, який базується на інформаційному підході до аналізу систем, що дозволяє узагальнювати детерміновані і імовірнісні оцінки ступеня впливу факторів на реалізацію цілей підприємства.

7.3. Аналіз цілей та функцій системи керування підприємством

При виконанні цього узагальненого етапу необхідно забезпечити повноту визначення цілей і функцій підприємства (організації) на відповідному етапі його розвитку, провести оцінку функцій за критеріями їх важливості, трудомісткості виконання, частоти обігу та інших критеріїв і сформувані структуру цілей і функцій для обраного рівня системи управління (адміністрації підприємства чи організації в цілому, рівня виробництва, цеху тощо.), або досліджуваного виду діяльності.

Отримана структура цілей і функцій може служити основою для розробки організаційної структури підприємства, прийняття рішень про розподіл фінансових, матеріальних, кадрових та інших ресурсів, встановлення доплат за виконання функцій організаційного управління співробітникам, що поєднують ці функції з основними виробничими обов'язками (що часто має місце на малих підприємствах).

Використання методик структуризації, що базуються на різних концепціях, дозволяє забезпечити повноту аналізу цілей і функцій системи управління підприємством (організацією) з точністю до прийнятої концепції, що важливо враховувати при розробці конкретних методик.

При управлінні великими підприємствами, об'єднаннями, вузами неможливо побудувати єдину деревоподібну ієрархічну

структуру, необхідно використовувати багаторівневі ієрархічні уявлення типу страт, ешелонів.

При аналізі цілей використовуються експертні оцінки, у тому числі методи організації складних експертиз (особливо в багаторівневих системах), непрямі кількісні оцінки та інформаційна оцінка ступеня цілісності, яка стосовно структурам цілей інтерпретується як критерій керованості системою при наданні свободи суб'єктам, які реалізують підцілі і функції, а для ешелонованих структур (типу холдингу) може трактуватися як ступінь координованій підприємств і організацій, що входять в холдинг. Для реалізації підетапів оцінки розробляються або використовуються відповідні автоматизовані процедури.

В нових умовах багатоукладної економіки, впровадження ринкових принципів у підприємств виникають проблеми, які вимагають більшої уваги до перегляду взаємодії підприємства із змінним ринковим середовищем - з надсистемою, яка тепер виступає не тільки як вищі органи управління, а в основному як споживач продукції, з конкурентним актуальним середовищем. Для того щоб більш повно розкрити складові простору ініціювання цілей, доцільно використовувати інші методики структуризації.

На рис. 7.2 наведено приклад узагальненої структури, на верхньому рівні якої використовується методика, що базується на концепції системи, яка враховує її взаємодію з середовищем, а гілки, отримані на основі ознаки «простір ініціювання цілей», формуються з використанням інших методик. Підвідомчі системи можуть визначитися на основі досвіду використання методики, заснованої на неоднозначному визначенні системи Умова. При структуруванні актуальною середовища використано прийом Колосова, тобто виділення компонентів дружнього (*Др*), конкурентного (*Конк*) і байдужого (*Б*) середовища.

Власне, система керування підприємством структурована із використанням методики, яка базується на концепції діяльності, у відповідності з якою в структурі можна виділити такі складові: “аналізу цілей і функцій” (*Ц*), “змісту і форми” (*ЗіФ*), що реалізується в організаційній структурі організації, “методи” (*М*), що інтерпретується як система нормативно-

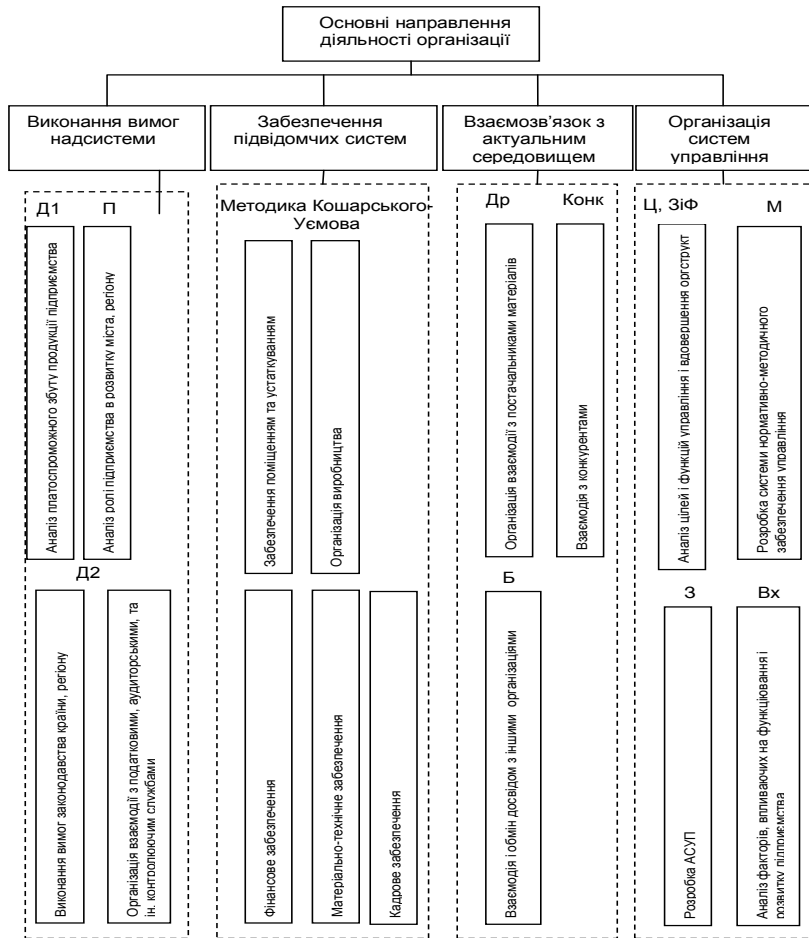


Рис. 7.2. Структура діяльності підприємства

методичного забезпечення управління підприємством; “засоби” (З), що інтерпретується, зазвичай, як розробка автоматизованої системи управління підприємством (АСУП); “входи” – фактори, що впливають на створення і функціонування підприємством. При цьому складові Ц та ЗіФ об’єднані в одній

компоненті.

Надсистема структурується із використанням методики Акофа-Емері, згідно якої визначаються вітки, що умовно названі “достаток” (*Д1*), “правда” (*П*), “добро” (*Д2*), “краса” (*К*). Ці складові інтерпретуються із врахуванням особливостей конкретного підприємства (організації).

При цьому в залежності від характеру підприємства можуть враховуватись не всі складові. Наприклад, на рис. 7.2 при структуризації надсистеми для промислового підприємства може бути відсутня вітка *К*, але якщо розглядали театр або ресторан, то ця складова означала б вплив організації на розвиток культури регіону, країни. Також деякі складові можуть ініціювати кілька підцілей (наприклад, *Д2*).

7.4. Розробка організаційної структури підприємства

Проблема вдосконалення організаційних структур - одна з найскладніших проблем економіки. Особливо ускладнюється вона в даний час, коли підприємства та організації зазнають суттєвих перетворень у відповідності з новими умовами економічного стану країни. Ринкова ситуація, яка постійно змінюється, вимагає регулярного коригування оргструктури, для чого підприємству (організації) необхідно мати відповідну методику й автоматизовані засоби її підтримки.

Дослідженням форм і методів проектування оргструктур присвячено багато робіт. Їх аналіз показує, що в принципі при поданні оргструктур для підприємств різних розмірів, що використовують різні принципи управління, можуть бути застосовані різні форм структур. При цьому в теорії і практиці оргструктур сучасних підприємств і організацій використовуються, як правило, змішані форми і принципи управління, для характеристики яких введена відповідна термінологія.

Вихідними організаційними формами управління є лінійна (рис. 7.3) і функціональна (рис. 7.4), які відповідають дерево-подібній ієрархічній структурі і граничному випадку ієрархії зі «слабкими» зв'язками або матричній структурі, в якій існують

всі взаємозв'язки між елементами суміжних рівнів ієрархії.

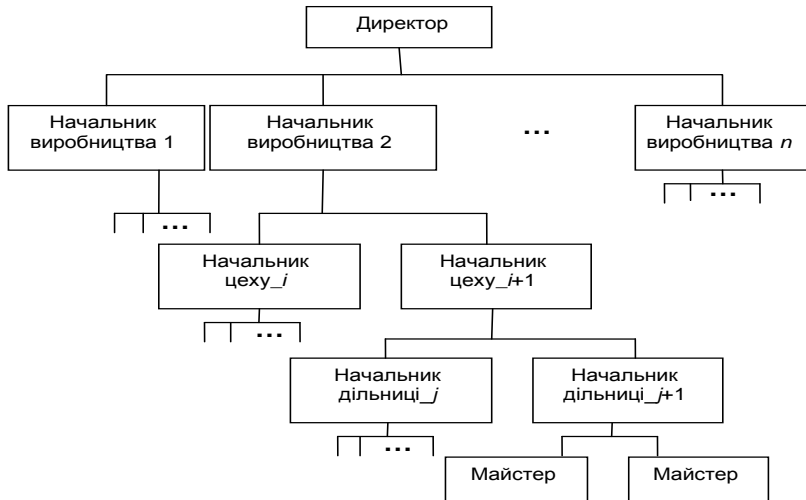


Рис. 7.3. Лінійна форма управління виробництвом

Ці відповідності обумовлюють властивості лінійної та функціональної структур, у першій з яких реалізується принцип єдиноначальності та єдності розпорядництва (що забезпечує ефективність оперативного управління), а друга була запропонована як засіб для підвищення професійної кваліфікації працівників апарату управління (що підвищує ефективність прийнятих ними управлінських рішень по функціях управління), але при тривалому її існуванні на перший план виступають специфічні інтереси функціональних підрозділів, що може вступати в протиріччя з інтересами підприємства в цілому.

В даний час в чистому вигляді ці вихідні форми оргструктур не застосовуються.

Найбільш поширеною формою є поєднання лінійного та функціонального принципів управління. Такі структури називають лінійно-функціональними.

У таких структурах (рис. 7.5) прийнято такий поділ праці, при якому лінійні ланки управління наділені принципами єдиноначальності і виконують функції розпорядництва, а

функціональні - надають допомогу лінійним, але свій безпосередній вплив на нижні ланки здійснюють тільки після узгодження технічної, економічної та інших видів політики і планів ремонту приміщень, техніки, розподілу ресурсів (фінансових, кадрових, ЕОМ тощо) на директораті (науково-технічній раді) підприємства (або організації), що відображено на рис. 7.5 пунктирною лінією, тобто слабким зв'язком (звідки і відбувся термін - ієрархія зі «слабкими» зв'язками).

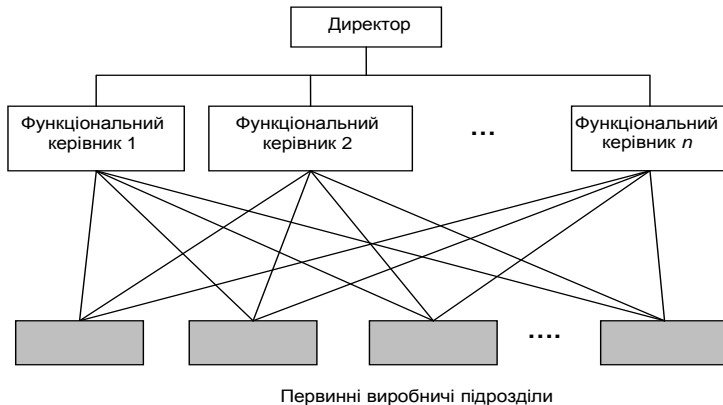


Рис. 7.4. Функціональна форма управління виробництвом

Принципи лінійного та функціонального управління використовуються в будь-якої організаційної структури. Лінійне управління будується на основі виробничої структури підприємства (організації). Функціональні підрозділи забезпечують єдину політику і централізацію управління по основних укрупнених функцій організації виробничого процесу (технічна та технологічна підготовка виробництва, матеріально-технічне забезпечення процесу виробництва, фінансове, кадрове та інші види забезпечення підприємства).

При цьому відносини всередині функціональних підрозділів також будуються за лінійним принципом (заступник директора з відповідного виду діяльності - відділ - бюро).

У той же час підвищення динамічності змін зовнішніх і внутрішніх умов діяльності підприємства (організації) виявило

не недоліки лінійно-функціональних структур, які є основною організаційною формою управління на більшості підприємств і в організаціях непромислової сфери.

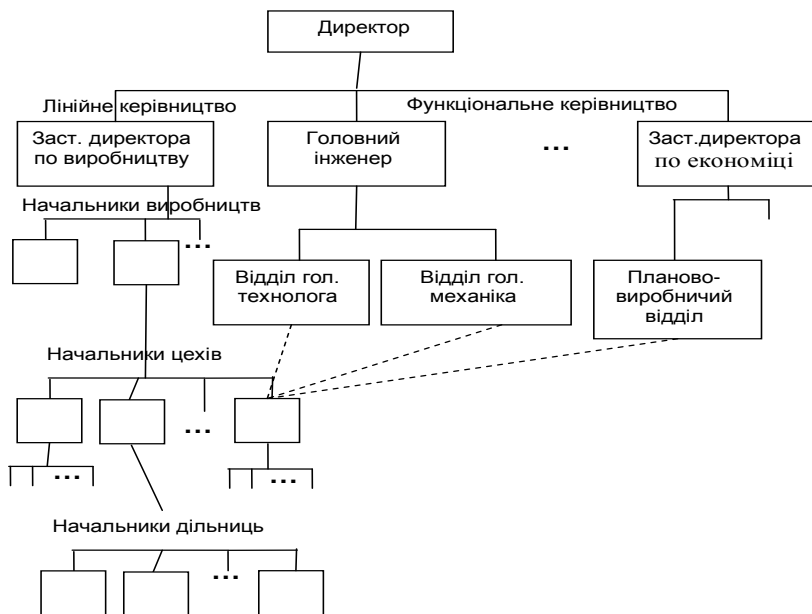


Рис. 7.5. Лінійно-функціональна структура управління

Така структура забезпечує ефективне управління в стабільних умовах. Коли ж перед підприємством (організацією) виникають не звичайні, пов'язані з виконанням плану, завдання, а нові, великі, одноразові проблеми, ця структура виявляється недостатньою. І чим краще налагоджена лінійно-функціональна структура, тим більше вона буде протистояти нововведенням (технічному переозброєнню, реконструкції підприємства, введення нових методів управління тощо).

Тому виникли різні організаційні форми *програмно-цільового* управління:

- *функціональна координація*, при якій в оргструктуру вводиться додаткова структурна одиниця, що здійснює координацію

функціональних і лінійних підрозділів для рішення нової науково-технічної задачі (як правило, зі слабкими правами розпорядництва і без виділення додаткових штатів);

- *проектне* або *програмне* управління, при якому після розробки і затвердження проекту його керівник (головний конструктор) наділяється всіма необхідними повноваженнями для його виконання і набуває статусу заступника директора, а іноді і стає над ним (що мало місце при організації виконання космічних проектів).

Між цими крайніми формами існує спектр організаційно-правових форм з різним ступенем впливу програмно-цільових принципів на організацію виробництва та управління.

Програмно-цільові органи можуть створюватися на час виконання комплексних програм або на якийсь період діяльності підприємства (організації), можуть бути створені постійно діючі або тимчасові програмно-цільові групи, які змінюють тематику досліджень або розробок в рамках якоїсь спеціалізації (наприклад, для створення гнучких виробничих комплексів та інших нововведень в техніці, технології тощо.).

Для реалізації принципу програмно-цільового управління в ній введено посаду заступника директора. У числі програмно-цільових підрозділів, що здійснюють розробку та впровадження нововведень в технічне забезпечення, нових технологій тощо – відділ технічного переозброєння та реконструкції підприємства, відділ управління комплексними програмами, тимчасові проектні підрозділи.

У разі створення програмно-цільових органів в оргструктурі підприємства (організації) можливі ситуації, коли їм не надається особливий пріоритет, а здійснюється розподіл ресурсів, прав і відповідальності між програмно-цільовою і лінійно-функціональною сферами управління з урахуванням конкретних програм і ситуацій. Рішення приймаються на науково-технічній раді підприємства.

Така оргструктура з поєднанням трьох рівноправних сфер - лінійної, функціональної та програмно-цільової - є найбільш гнучкою формою управління, і в практиці управління підприємствами отримала назву тривимірної *матричної структури*.

У міру розвитку підприємств і науково-виробничих об'єднань і виділення в них поряд з основними розглянутими в якості самостійних сфер таких як інформаційна, соціальна тощо, виникають *багатовимірні матричні структури*, які іноді називають *тензорними*.

У великих об'єднаннях, що включають кілька підприємств і організацій та делегують значну самостійність цим підприємствам, а іноді й окремих виробництвам, використовується *стра-тифіковане* представлення оргструктур.

Це має місце, наприклад, в об'єднанні «АвтоВАЗ» (підприємства якого знаходяться в різних містах, а територія основного з них-ВАЗа - становить кілька десятків квадратних кілометрів). Функції різних сфер управління зазвичай розділені між відповідними заступниками директора. Для виконання укрупнених функцій формуються відділи, в яких потім можуть бути виділені сектори. Виняток становлять тільки нечисленні підрозділи, які не можуть бути об'єднані з іншими в силу їх специфіки - юридичне бюро (ЮрБ), бюро охорони навколишнього середовища (Бонс).

В умовах ринкової економіки, особливо при управлінні малими та середніми підприємствами, застосовується форма організації, що складається з пересічних робочих груп, в яких певні фахівці грають роль сполучних ланок (рис. 7.6).

Така структура складається з пересічних робочих груп. Кожен керівник належить до груп двох різних рівнів: до групи, що складається з його підлеглих і до групи, яка включає його начальника.

Ця система управління приймає типову форму постійних комітетів, складених з представників підрозділів, тимчасових цільових комітетів, періодичних нарад представників «зацікавлених» підрозділів. Проте ця організація може виявитися марно-тратною і повільною. При цьому виникають протиріччя між глобальною метою організації та локальними цілями робочих груп. Основним механізмом узгодження цілей підрозділів (робочих груп) з цілями компанії є участь робітників в управлінні.

У разі малого підприємства функції організаційного управління можуть бути доручені співробітникам, які займаються

основною (виробничої або іншої) діяльністю, і визначена відповідна доплата за їх виконання.

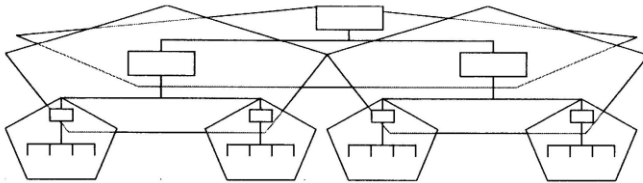


Рис. 7.6. Структура організації, що характеризується робочими групами, що перетинаються

Аналогічне поєднання функцій основної діяльності та організаційного управління має місце у вузі (декан, заступники декана, завідувачі кафедрою тощо. виконують організаційні функції, не припиняючи основної викладацької діяльності).

У разі великого підприємства можна розробляти методичку, за допомогою якої розподіл функцій здійснюється поетапно: спочатку - між стратами (при їх використанні), або між заступниками директора (президента, ректора, декана і т. д.), а потім - по підрозділах гілок оргструктури, які беруть участь у виконанні відповідної групи функцій.

Методика залежить від конкретних особливостей підприємства (організації). При її розробці можуть використовуватися різні підходи і методи.

Одним з методів, що сприяють підвищенню об'єктивності оцінок зв'язності, є метод комбінаторної топології, і зокрема, метод, заснований на понятті сімпліціального комплексу Дж. Касти, який дозволяє отримати інформацію про можливі варіанти об'єднання елементів у групи, кількісні оцінки зв'язності елементів і їх значимості для системи не шляхом прямої експертної оцінки, а на основі матриці інцидентів, яка описує зв'язки між функціями управління і сформована за результатами експертних процедур, досить простих у цьому методі, що вимагають від експерта оцінок у формі «так» - «ні», які

перетворюються потім, після передбаченої обробки, в більш диференційовані оцінки. Однак такий підхід також досить трудомісткий і рідко застосовується на практиці.

У разі коригування існуючої організаційної структури, зазвичай, за основу беруть існуючу, розподіляють по її підрозділам нові функції (рис. 7.7), виявляють функції, які не виконуються існуючими підрозділами (позначені на рис. 7.7 знаком «-»), уточнюють положення про підрозділи або при необхідності змінюють їх найменування, ділять перевантажені, переглядають розподіл підрозділів по підпорядкованості заступникам директора.

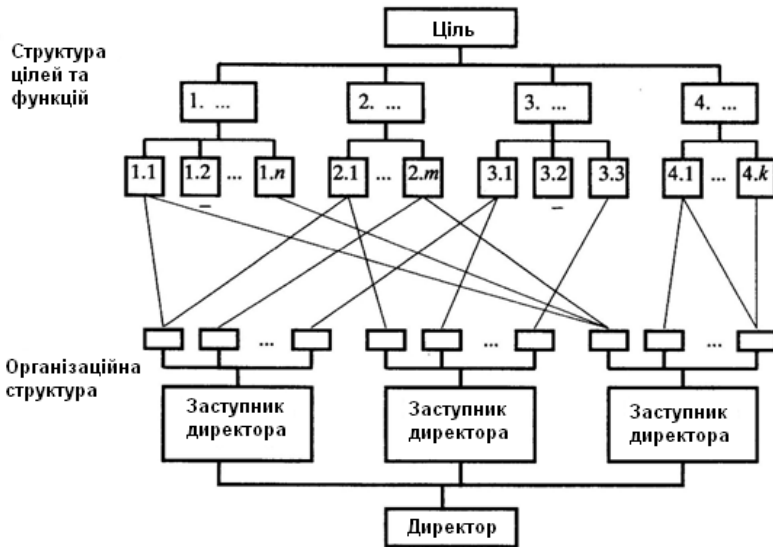


Рис. 7.7. Коригування існуючої організаційної структури

Такий підхід в принципі можна застосувати і при створенні нових підприємств, формуючи варіанти їх організаційної структури на основі аналізу діючих підприємств і рекомендацій, накопичених в теорії розробки оргструктур, і зокрема, можна вибрати вид оргструктури, використовуючи відомості про види оргструктур (лінійна, функціональна, програмно-цільова, мат-

рична), запропонувати варіанти оргструктури, розподілити функції по підрозділах оргструктури.

Організаційна структура створюється для того, щоб керівник міг зберігати цілісне уявлення про систему управління. Для забезпечення цього оргструктура повинна володіти рядом вимог:

- підрозділи оргструктури повинні забезпечувати виконання всіх необхідних функцій управління;

- розчленування на кожному рівні має бути відповідним, а виділені частини логічно незалежними; дослідження показали, що рівномірно структуровані системи володіють більшою цілісністю і стійкістю;

- число рівнів у всіх гілках має бути однаковим (впливає з попередньої вимоги, але виділено в силу його особливої значущості для організації ефективного управління);

- ознаки декомпозиції (структуризації) в межах одного рівня (або, принаймні, вузла) повинні бути єдиними; це забезпечує кращу керованість;

- в структурі не повинно бути так званих «вироджених» гілок, тобто гілок, які не розчленовані хоча б на дві складові, оскільки в іншому випадку підлеглі один одному нерозгалужені гілки практично дублюють один одного, знижуючи ефективність системи управління;

- число рівнів ієрархії і кількість компонентів в кожному вузлі має бути (в силу гіпотези Міллера або числа Колмогорова) $K=7+2$; невиконання цієї вимоги ускладнює прийняття рішень; змістовно вимоги цієї гіпотези можна пояснити обмеженням можливостей оперативної пам'яті людини, його здатністю аналізувати в оперативній пам'яті не більше $7 + 2$ складових і зв'язків між ними (близько 140). Дослідження оргструктур великих корпорацій в США показали доцільність навіть нижньої межі - 5.

Наведені вимоги не завжди сумісні (що пов'язано з особливостями конкретних організацій), і на практиці потрібно шукати компроміси. Однак по можливості слід прагнути до їх виконання і порівнювати пропоновані варіанти оргструктури з точки зору виконання цих вимог.

Особливу увагу слід звертати на порівняльний аналіз оргструктур з точки зору забезпечення цілісності і стійкості, з одного боку, і надання свободи в прояві ініціатив працівникам підприємства, з іншого, тобто оцінці варіантів оргструктури з точки зору централізації-децентралізації управління.

7.5. Інформаційні моделі виробничих систем

Організація виробничих процесів - велика область, для дослідження проблем якої розроблені різноманітні моделі, що базуються на застосуванні методів математичного програмування, статистичних методів. Цим проблемам присвячена значна кількість монографій і підручників з організації виробництва. У той же час методи *теорії систем* і *системного аналізу* дозволяють у ряді випадків врахувати більше реальних особливостей виробничих ситуацій. Інформаційний підхід до моделювання систем дозволяє в реальних умовах уточнити алгоритм або спростити і прискорити процедуру пошуку рішення. Зокрема, це стосується двох розглянутих нижче класів завдань.

7.5.1. Ланки масового обслуговування

До таких ланок можуть бути зведені як суто виробничі (технологічні) процеси, так і процеси обробки документації (інформації) в заводоуправліннях і обчислювальних комплексах. Зазвичай, потоки замовлень (вимог) на обслуговування в таких ланках приймаються пуассонівським (описуються законом Пуассона), тобто без урахування післядії, а самі ланки розглядаються як марковські, що справедливо лише в дуже обмеженій кількості випадків.

Між тим, найпростіший (пуассонівський) потік з інтенсивністю λ характеризується експоненціальним розподілом щільності ймовірності

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

яка в інформаційних термінах представляє собою матеріальний (інформаційний) струм $I=f(t)$ в колі (рис. 7.8), де сутність $H=I$, опір $\tau=I/\lambda$, а ємність $n=I$.

Рівняння такого кола

$$H = I\tau + \frac{1}{n} \int Idt \quad (7.2)$$

при початкових умовах

$$I(0) = \frac{H}{\tau} = \tau$$

має рішення, що збігається з пуассонівським розподілом.

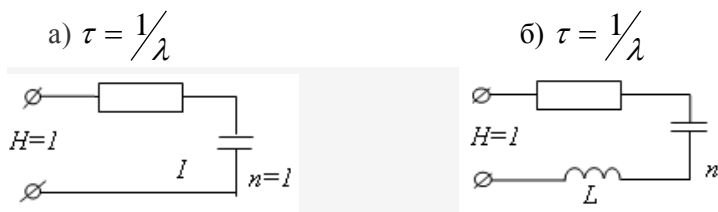


Рис. 7.8. Електричні моделі інформаційних потоків

Однак повне мінімальне інформаційне коло, як було показано, крім опору τ і ємності n , має ще й ригідність L , в якій виражається її післядія (рис. 7.8,б). Крім того, і ємність n , яка характеризує неординарність потоку, може мати в загальному випадку значення, відмінне від одиниці. Рівняння (7.2) для такого кола тепер буде мати такий вигляд:

$$H = I\tau + \frac{1}{n} \int Idt + L \frac{dI}{dt} \quad (7.3)$$

при початкових умовах

$$I(0) = 0$$

$$\frac{dI(0)}{dt} = \frac{H}{L} = \frac{1}{L}$$

має рішення

$$2\lambda t / T \exp(-t/T) \text{ при } \delta \leq 1;$$

$$\frac{2\lambda\delta}{\sqrt{\delta^2 - 1}} sh \frac{t\sqrt{\delta^2 - 1}}{T} \exp(-\delta t/T) \text{ при } \delta > 1,$$

де, $\delta = \sqrt{n/L}/2\lambda; T^2 = nL; L = (\tau^2 - D)/2;$

де D - дисперсія проміжку часу між заявками.

Таким чином, рівняння (7.3) і його рішення апроксимують широкий клас пакетів заявок з різними інтенсивностями λ і дисперсіями D , включаючи, звичайно, і пуассонівський потік, для якого

$$D = (1/\lambda)^2 = \tau^2 \quad \text{і} \quad n=1$$

У результаті опису широкого класу систем масового обслуговування з післядією і неоднорідністю зводиться до системи рівнянь типу (7.3), які відрізняються від зазвичай застосовуваних в марковських колах рівнянь Колмогорова доданками Ldl/dt . Наприклад, якщо граф станів найпростішої системи масового обслуговування має вигляд, показаний на рис. 7.9,а, то, за Колмогоровим, для марковського кола маємо

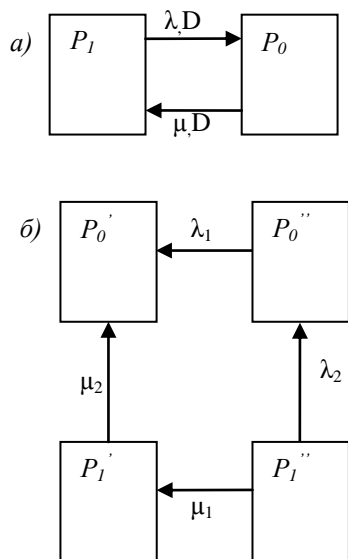


Рис. 7.9. Графи станів систем масового обслуговування: а) найпростіша схема, б) ланки з післядією та довільними потоками

$$p_0 + p_1 = 1, \quad dp_0/dt = -\lambda \cdot p_0 + m \cdot p_1,$$

де p_0 -ймовірність того, що система вільна;

p_1 - імовірність того, що система зайнята;

λ, D_λ - інтенсивність і дисперсія потоку їх виконання.

При тих же умовах, але в колах з післядією і довільними потоками з'являються ще псевдостани (рис. 7.9,б), оскільки передаточна функція ланцюга \bar{b} на рис. 7.9 зводиться до передаточних функцій кола a за умови $\tau = \tau_1 + \tau_2$ та $\lambda = \tau_1 \tau_2$.

Таким чином, маємо

$$dp_0'/dt = \lambda_1 p_0' + \mu_2 p_1'',$$

$$p_1' + p_1'' = p_1,$$

$$dp_0''/dt = -\lambda_2 p_0'' + \lambda_1 p_0',$$

$$dp_1'/dt = \mu_1 p_1' + \lambda_2 p_0'',$$

$$p_0' + p_0'' = p, \quad p_0 + p_1 = 1,$$

де $1/\lambda = 1/\lambda_1 + 1/\lambda_2$; $\lambda_1 \lambda_2 (1 - \lambda^2 D_\lambda) = 2\lambda^2$; $1/\mu = 1/\mu_1 + 1/\mu_2$;

$$\mu_1 \mu_2 (1 - \mu^2 D_\mu) = 2\mu_2.$$

Ці співвідношення, подібні рівнянням Колмогорова, справедливі для будь-яких дисперсій в межах $\lambda^2 D_\lambda \geq 0.5$, а не тільки $\lambda^2 D_\lambda = 1$, як в простому потоці. Вони дозволяють визначити всі вхідні в них ймовірності для довільних кіл масового обслуговування. У той же час можна обійтися і без псевдостану, якщо замість рівнянь Колмогорова написати систему

$$\left\{ (\lambda^2 D_\lambda - 1) / 2\lambda \right\} d^2 p_0 / dt^2 \left\} dp_0 / dt = -\lambda p_0 + \mu p_1,$$

$$\left\{ (\mu^2 D_\mu - 1) / 2\mu \right\} d^2 p_1 / dt^2 \left\} dp_1 / dt = -\mu p_1 + \lambda p_0,$$

також справедливу за будь-яких значеннях дисперсії в обумовлених межах. Якщо ж зняти всякі обмеження на дисперсію потоку, то для довільного випадку, не вдаючись до псевдостанів, отримуємо систему рівнянь виду

$$\begin{aligned} \mu p_1 - \lambda p_0 &= dp_0/dt + \lambda/\lambda_1 \left[(C_n^2 - n + 1)/\lambda_1 + (n-1)/\lambda_2 \right] d^2 p_0/dt^2 + \dots \\ &\dots + \lambda/\lambda_1^{i-1} \left[(C_n^1 - n + i - \lambda)/\lambda_1 + (n-i + \lambda)/\lambda_2 \right] dp_0/dt^i + \dots \\ &\dots + (1/\lambda - \kappa) d^n p_0/dt^n, \end{aligned}$$

де, $k = \lambda/\lambda^2 D_\lambda$, n -найближче до k найбільше ціле число;

$$1/\lambda = (n-1)/\lambda_1 + 1/\lambda_2; D_\lambda = (n-1)/\lambda_1^2 + 1/\lambda_2^2.$$

Останє рівняння представляє загальне рівняння Колмогорова на випадок потоків Ерланга нецілої степені, тобто на випадок потоків з будь-якою післядією.

7.5.2. Транспортні та задачі, що до них зводяться

Основні способи вирішення таких задач, що є задачами лінійного програмування, орієнтуються на симплекс-метод, який є досить громіздким. На основі інформаційного підходу був запропонований метод сумарного градієнта, що робить процедуру пошуку рішення набагато менш громіздкою.

Припустимо, що необхідно задовольнити потребу сировини в декількох точках виробничого комплексу, розкиданого по великій території. Проміжні склади сировини також можуть бути розкидані по цій території, так що виникає задача оптимальних перевезень від складів до споживачів, або за критерієм мінімуму вартості, або за критерієм мінімуму часу перевезень.

Відповідно до теорії інформаційного поля запаси сировини в проміжних складах можна вважати позитивною матеріальною властивістю (запасом) - M , а дефіцит його в точках споживання можна вважати від'ємним M .

Таким чином, оптимальними будуть перевезення в напрямку

напруженості, тобто градієнта потенціалу, утвореного відповідним M поля. При цьому в ролі потенціалу поля виступають або вартість перевезки умовної одиниці сировини, або час її перевезення.

Ідея прийняття рішення ілюструє табл. 7.2-7.5.

Наприклад, якщо треба задовольнити зазначену в табл. 7.2 потребу в пунктах B_1, B_2 і B_3 за рахунок запасів на складах A_1, A_2 і A_3 (ціни відповідних перевезень вказані в правому верхньому куті кожної клітки таблиці), то необхідно визначити для кожного варіанта (для кожної клітинки) сумарний градієнт потенціалу.

Таблиця 7.2

	B_1	B_2	B_3	Запаси
A_1	5 +3	7 -4	6 0	50
A_2	6 +1	6 -2	5 +2	40
A_3	8 -6	4 +7	5 -1	20
Потреби	18	21		

Таблиця 7.4

	B_1	B_2	B_3	Запаси
A_1	5 +3	7 -4	6 0	50
A_2	6 0	5 +2	40	40
Потреби	18	1	33	

Таблиця 7.3

	B_2	B_3	Запаси
A_1	7 -2	6 0	32
A_2	6 0	5 +2	40
Потреби	1	33	

Таблиця 7.5

	B_2	Запаси
A_1	7 -1	32
A_2	6 +1	1
Потреби	1	

Це виконується шляхом додавання з урахуванням знака всіх різниць між потенціалом (ціною) даної клітинки і ціною безпосередньо прилеглих до неї в рядку і стовпці сусідніх клітин. Результируючі сумарні градієнти наведені в тій же таблиці в центрі клітинки.

Наведемо можливий варіант отримання рішення. Оптимальним першим перевезенням є те, у якого виявиться максимальним сумарний градієнт. У даному випадку такий градієнт +7 відповідає перевезенню всього запасу сировини (20 одиниць) з A_3 в B_2 . Кількість сировини і ціна виділені в таблиці напівжирним шрифтом. Ситуація після цього перевезення відображена в табл. 7.3, де заново перераховані сумарні градієнти для рядка A_2 , безпосередньо прилеглий до відкинутого рядку A_3 . Тепер оптимальне друге перевезенням виявляється перевезення потрібного вантажу для задоволення всіх потреб в сировині (18 одиниць) B_1 і A_3 (градієнт +3). Ситуація після другого перевезення відображена в табл. 7.4, де заново перераховані сумарні градієнти для стовпця B_2 , безпосередньо приєднаний до відкинутого стовпця B_1 . Згідно табл. 7.4 оптимальним третім перевезенням виявляється задоволення всієї потреби (33 одиниці) B_3 з A_2 (градієнт+2). Після третього перевезення складеться ситуація, відображена в табл. 7.5, де очевидним останнім кроком є задоволення потреби, що залишилася (1 одиниця) B_2 за рахунок A_2 .

Підсумовуючи тепер виділені в таблицях вартості всіх перевезень, отримаємо:

$$20 \cdot 4 + 18 \cdot 5 + 33 \cdot 5 + 1 \cdot 6 = 341.$$

що є мінімумом можливого і збігається з результатом, отриманим симплекс-методом, проте швидше і простіше, оскільки не потрібно збільшувати розмірів таблиці за рахунок введень фіктивної потреби, необхідної для приведення початкового завдання до завдання з правильним балансом, чого потребує симплекс-метод.

Слід домовитися про те, що оскільки метод сумарного градієнту орієнтований лише на найближчу ділянку діяльності,

то, з одної сторони, він значно прискорює процедуру розв'язання в тому числі за рахунок паралельного виконання однакових варіантів, або таких, які можна порівнювати, якщо тільки вони не є суміжними по рядках або по стовпцям, але, з іншої сторони, іноді в кінці процедури він дає помилки, коли найближча ділчанка виявляється усім простором діяльності.

Наприклад, у разі вибору з чотирьох варіантів, заданих в табл. 7.4, очевидно першим кроком є перевезення з A_1 в B_1 , щоб виключити несприятливий варіант A_2-B_1 , але метод сумарного градієнта дає $A_1 - B_2$. У першому випадку цільова функція

$$10 \cdot 2 + 10 \cdot 2 + 10 = 50.$$

а в другому:

$$20 \cdot 1 + 10 \cdot 4 = 60.$$

Однак таких збоїв можна уникнути, якщо крім максимуму сумарного градієнта враховувати мінімум суми градієнтів, які виключаються. Так, у першому випадку виключається в першому стовпці

$$+1 - 4 = -3.$$

а у другому:

$$+2 + 1 = +3.$$

На закінчення відзначимо, що в тих особливих випадках, коли сумарний градієнт виявляється однаковим для декількох клітин таблиці, необхідно обрати такий крок, який відповідає мінімальній ціні. Якщо ж і ціни виявляються однаковими, то слід вибирати ту клітку, яка знаходиться в рядку (якщо повністю вичерпано запас), або стовпці (якщо повністю задоволена потреба) з найвищою ціною, щоб виключити цей несприятливий варіант з подальшого розгляду.

7.5.3. Вибір гнучкості виробничої структури

Проектування і організація функціонування гнучких виробничих систем (ГВС) являє собою складну задачу, пов'язану з розв'язанням технічних, економічних і соціальних проблем, з об'єднанням в єдину систему окремих автоматизованих підсистем – САПР, АСУ, АСУТП тощо. При вирішенні цього завдання необхідно проаналізувати стан виробництва, включаючи аналіз стану технологічного обладнання та виробничих площ, дослідження можливостей спеціалізації і кооперування виробництва, стану технологічної підготовки виробництва; визначити потребу у впровадженні ГВС і обґрунтувати ефективність її організації, необхідну степінь гнучкості. При проведенні таких досліджень необхідно моделювати ГВС на різних стадіях її розвитку - від концептуального задуму до технічної реалізації та управління технологічними процесами.

Одним з найбільш складних і значущих етапів проектування ГВС є обґрунтування гнучкості виробничої структури. Для вирішення цієї проблеми розробляються різні моделі. У даному розділі розглядається один з підходів до вибору гнучкості виробничої структури, який базується на застосуванні інформаційного підходу.

Найпростіший спосіб побудови гнучкого виробництва полягає в організації паралельних технологічних ланок (конвеєрних ліній), кожна з яких (рис. 7.10,а) здатна випускати свою модифікацію виробів. Для переходу від одного виробу до іншого достатньо задіяти відповідну ланку (рис. 7.10,а, б чи в).

Недоліком цього способу є простій більшої частини обладнання при випуску в кожен момент тільки однієї модифікації продукції, що, правда, компенсується можливістю паралельної роботи всіх ланцюгів при випуску всіх модифікацій одночасно, що зазвичай і робиться при плануванні виробництва шляхом такого розподілу замовлень на різні види продукції за плановими періодами, яке забезпечило б найкраще завантаження устаткування і конвеєрних ліній.

Альтернативний спосіб побудови гнучкого виробництва, найбільш поширений (рис. 7.10,б), полягає в горизонтальному агрегуванні одночасних операцій в єдиному комплексі, тобто у

використанні універсальних програмованих верстатів і оброблювальних центрів. У цьому випадку для переходу від одного виробу до іншого необхідно вибирати по одній операції на кожному рівні так, щоб в сукупності вони утворили одну з можливих вертикальних ланок.

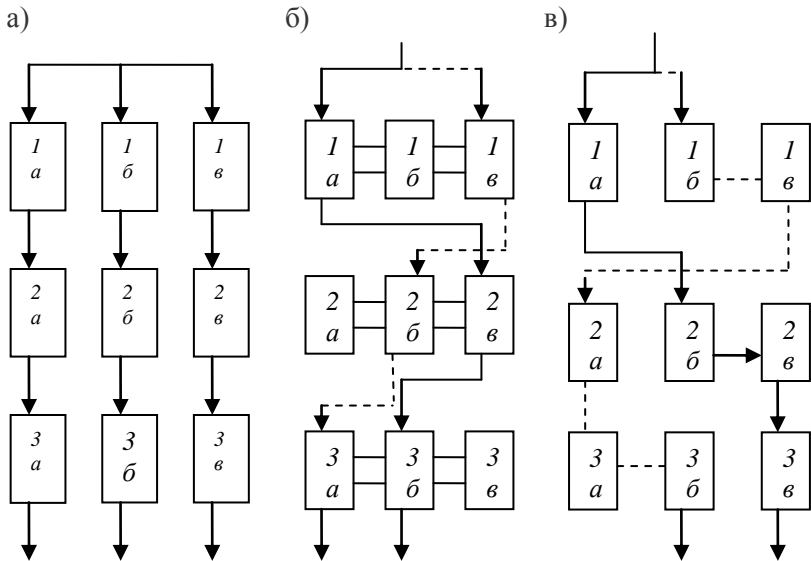


Рис. 7.10. Моделі гнучких виробництв: а – з паралельними технологічними ланками, б – з горизонтальним агрегуванням одночасних операцій, в – з матричним способом реалізації гнучкості

Недолік цього способу - у простоті всіх операцій, крім однієї, на кожному рівні *a*, *б* чи *в* та в неможливості випуску різних модифікацій виробу (суцільні та штрихові стрілки на рис.7.10,б), оскільки ні оброблювальні центри, ні верстати з ЧПУ не здатні на виконання більше ніж однієї програми в кожний даний момент часу. Перевага - в більшій кількості в порівнянні з першим способом модифікацій при тому ж виборі елементарних операцій, оскільки тут можливі не тільки

поєднання операцій з однаковим буквеним індексом, а й операцій з різними індексами.

Відома частка додатковості переваг і недоліків цих способів призводить до думки про необхідність їх поєднання у формі матричного способу реалізації гнучкості (рис. 7.10,в), коли замість складних і громіздких агрегатів знову використовуються найпростіші жорсткі автомати, коли кожний розрахований на виконання тільки однієї операції, що дозволяє, по-перше, комбінувати ці операції не тільки по вертикалі, як у перших двох способах, але і по горизонталі, збільшуючи число модифікацій виробів (суцільні та штрихові стрілки на рис.7.10,в), що різко скорочує простої устаткування.

Крім того, перехід до матричної структури та використання в кожній точці технологічного поля тільки найпростішого устаткування, що відрізняється відносно високою надійністю, з одного боку, збільшує безвідмовність всієї системи, з іншого - різко полегшує її модернізацію, бо заміна простих і дешевих малогабаритних верстатів на більш досконалі не вимагає капітального втручання у виробниче життя підприємства і може бути проведена без її порушення.

Нарешті, перехід до польової гнучкості психологічно важливий для роботи персоналу, який обслуговує це виробництво, оскільки, по-перше, обслуговування простих автоматів значно легше ніж обслуговування верстатів з ЧПУ та оброблювальних центрів; а, по-друге, матрична структура виробництва розв'язує творчу ініціативу, як робітників, так і інженерів, по частині вдосконалення, оскільки допускає безболісне експериментування та впровадження рацпропозицій та винаходів як у дрібницях, так і в цілому, без кардинальної зміни процесу.

Неважко помітити, що реалізація матричного способу гнучкості виробництва допускає дві основоположні схеми, до комбінації яких зведеться схема будь-якої реальної польової технології.

Одна з них полягає в тому, що при виготовленні відносно невеликих і легких виробів транспортні роботи переміщують їх у технологічному полі від автомата до автомата по маршрутах, що залежать не тільки від технології, але і від того, які з

відповідних автоматів (верстатів) вільні у даний момент.

Інша схема, яка застосовується до відносно громіздких і важких виробів, полягає в тому, що технологічне поле утворюють встановлені нерухомі вироби, а транспортні роботи переміщують у цьому полі обробні автомати, вибираючи ті з них, які вільні в даний момент і придатні для виконання відповідних операцій.

Обидві ці схеми покладають основний тягар управління на обчислювальні засоби, гранично спрощуючи і розвантажуючи від складних функцій технологічне обладнання, що, з одного боку, забезпечує високу надійність і безвідмовність всієї системи, а з іншого - полегшує налагодження, обслуговування та ремонт обладнання, допускаючи легку і повну заміну автоматів, які непрацюють через відмову, або верстатів, і відновлення їх в умовах ремонтного цеху або ділянки.

У таких умовах обчислювані засоби і застосування методів теорії масового обслуговування, оптимізації, морфологічного моделювання теоретично дозволяють майже повністю завантажити все обладнання, обійшовши тим самим головну проблему гнучкого виробництва (і взагалі всякого універсального виробництва) - простої більшої частини обладнання, що завжди супроводжують неминучу його надмірність.

Можна вказати і критерій, яким повинна керуватися система управління польовою технологією для забезпечення оптимального розміщення робіт по обладнанню. При ранжируванні операцій по терміновості і присвоєнні їм відповідних потенціалів P_k , система повинна забезпечити в кожен момент

$$\int_{k=1}^m P_k M_k t_k \rightarrow \max,$$

де m - загальне число одночасно можливих у даному полі операцій,

M_k - число виконуваних операцій, що мають потенціал P_k . Цей критерій враховує всі фактори і допускає навіть знехтування малою кількістю M_k термінових операцій заради великої кількості менш термінових з урахуванням, зрозуміло,

відповідних лімітів на термін виконання замовлень. Все ж таки цей критерій може поставити гнучке виробництво у важкі умови, оскільки він ніяк не враховує всякого роду профілактичні зупинки обладнання, які неминуче повинні мати місце.

Тому універсальний критерій повинен включати також час t_k безперервної роботи обладнання

$$\int_{k=1}^m P_k M_k t_k \rightarrow \max,$$

яке тим більше, чим більше уваги приділяється профілактиці, хоча вона сама по собі і створює видимість деякого зменшення цього часу.

Враховуючи зростаючу важливість для гнучкої польової технології оптимізації всіх процесів, слід застосовувати розглянутий прискорений метод вирішення транспортної задачі.

При випадковому характері зміни модифікацій виробів і при одночасному виробництві декількох модифікацій траєкторії заготовок в технологічному полі, що залежать від випадкового характеру обладнання, самі набувають випадковий характер, що змушує розглядати організації виробництва як завдання масового обслуговування.

Існуючі методи вирішення такого завдання по необхідності зводять потоки заявок в таких технологічних циклах до найпростіших, а самі цикли розглядають як марковські, що по суті справи, не відповідає реальному стану справ, оскільки ігнорується істотна післядія таких ланок. Тому слід використовувати розглянутий метод, який дозволяє вирішити це завдання без сумнівних припущень і з урахуванням реальних параметрів процесу.

7.6. Застосування системного аналізу при розробці автоматизованих інформаційних систем.

Системи такої складності, як АСУ, мають низку специфічних особливостей, властивих відкритим системам з активними елементами, до яких, зокрема, відносяться неоднознач-

ність використання понять «цілі» - «засоби», «система»-«підсистема»; труднощі прогнозування (а іноді й принципова непередбачуваність) поведінки системи при внесенні до неї змін.

Для забезпечення адаптивності системи, її здатності до самоорганізації необхідно передбачити відповідні кошти, щоб забезпечити цілеутворення, здатність виробляти варіанти поведінки, а при необхідності змінювати структуру системи управління та АСУ.

Ці особливості були усвідомлені з самого початку розробки АСУ і зумовили необхідність залучення для їх пояснення та забезпечення системних уявлень, закономірностей функціонування і розвитку складних систем.

Розуміючи неминучість і необхідність виявлення названих особливостей і обумовлюючи їх закономірності, які діють в системі незалежно від того, враховують їх чи ні, і ускладнюють управління розробками автоматизованих інформаційних систем АІС (як першої черги АСУ), деякі фахівці вже на ранніх стадіях їх створення пропонували створювати системи проектування та розвитку АСУ, розробляти єдині принципи проектування та термінологію.

У розумінні принципів побудови та організації функціонування АСУ велику роль відіграє виділення частин *функціональної* (ФЧ) і *забезпечення* (ЗЧ), що не втрачає актуальності і в даний час при розробці будь-яких автоматизованих інформаційних систем і систем керування.

Структура ФЧ визначаються на основі аналізу цілей і функцій системи управління, для забезпечення діяльності якої створюється АСУ або АІС, і включає підсистеми і завдання, вибрані для автоматизації, тобто ФЧ визначає цілі та основні функції АСУ (АІС).

Структура ЗЧ включає види забезпечення (власне інформаційне, технічне, програмне, лінгвістичне, ергономічне тощо), необхідні для реалізації підсистем і завдань ФЧ АСУ (АІС), тобто ОЧ є засобом для досягнення цілей автоматизованої системи.

Чому потрібно введення нових термінів – ФЧ і ЗЧ – замість,

здавалося б, звичних понять «цілі» і «засоби»? Відповідь на це питання можна дати за допомогою особливостей і закономірностей складних систем.

У складних системах кожен рівень ієрархічної структури веде себе як - як *засіб* по відношенню до вищого рівня і як мету по відношенню до нижчого рівня. Відповідно складові будь-якого проміжного рівня в структурі АСУ можна розглядати як підсистеми по відношенню до вищого рівня, до системи в цілому, яка їх об'єднує, і в той же час, взяті самі по собі, вони можуть розглядатися як системи. Тому часто при розробці АСУ виникали суперечливі ситуації, окремі підсистеми «Кадри», «Якість» та інші на певній стадії розвитку АСУ починали називати «АСУ-Кадри», «АСУ-Якість» (тобто вважали їх ніби самостійними системами - АСУ), у той час як по відношенню до загальної системи виробництва вони продовжували залишатися підсистемами.

Більше того, на кожному рівні ієрархічної структури ФЧ в силу закономірностей ієрархічної впорядкованості завжди слід визначати свої цілі, функції, завдання, засоби. Іншими словами, поняття «мета» і «засоби» в ієрархічній структурі завжди використовуються неоднозначно, і це повинні усвідомлювати розробники АСУ, не витрачаючи часу на безперспективні дискусії з приводу термінів.

Слід також зазначити, що введені терміни - ФЧ і ЗЧ не можна однозначно ототожнювати в поняттями «цілі» і «засоби». Це - більш складні поняття. Дійсно, інколи вводять поняття «підсистеми забезпечення», маючи на увазі певним чином організовані сукупності інформаційних, програмних, технічних засобів, що використовуються для реалізації не узагальненої функції (для якої використовується термін «функціональна підсистема»), а якої-небудь допоміжної функції нижчих рівнів або визначення їх сукупності. З іншого боку, коли здають в експлуатацію функціональну підсистему, то мають на увазі не тільки сукупність завдань і функцій, що включаються в неї, а й алгоритми, програми, інструкції з їх використання, тобто і сукупність засобів реалізації цієї підсистеми.

Таким чином, терміни ФЧ і ЗЧ є узагальненими умовними

поняттями, які допомагають охарактеризувати автоматизовану систему як ціле, виділивши в ній роботи, більшою мірою пов'язані з аналізом і описом цілей системи (формування структури ФЧ АС) і роботи, пов'язані з визначенням загальної структури засобів реалізації цілей (ЗЧ АС).

Відповідно при управлінні розробками автоматизованих систем виділяють дві основні проблеми:

1. Формування структури ФЧ АС і вибір на її основі першочергових завдань автоматизації (для АС тієї чи іншої черги).

2. Формування структури ЗЧ АС.

При цьому структура ЗЧ - не просто сукупність засобів інформаційного, технічного алгоритмічного, програмного та інших видів забезпечення, а також організаційна форма взаємодії всіх видів забезпечення, необхідних для реалізації підсистем і завдань (що входять в структуру ФЧ) на всіх рівнях ієрархії структури ЗЧ.

Вирішення цих двох основних проблем взаємопов'язане. З одного боку структура ЗЧ визначається структурою ФЧ. У той же час вибір структури ФЧ багато в чому залежить від наявних технічних, програмних та інших засобів, тобто визначається потенційними можливостями ОЧ. Основні проблеми управління розробками АСУ, в свою чергу, можна розділити на завдання, які часто можна вирішувати паралельно.

Наприклад, етапи можна розділити на наступні підетапи:

1. Формування структури ФЧ АСУ.

- 1.1. Прогнозування структури ФЧ АСУ. Розробка прогнозного варіанта структури ФЧ АСУ (на 20 років) та основних напрямів розвитку АСУ (на 10 років) на основі структуризації цілей і функцій системи управління підприємством.

- 1.2. Розробка структури ФЧ АСУ наступної черги (на 5 років). Це завдання називають також «Вибір першочергових підсистем (комплексів задач) автоматизації для наступної черги АСУ».

- 1.3. Вибір першочергових (найбільш значущих) завдань в підсистемах АСУ і послідовності їх проектування та впровадження.

- 1.4. Проектування підсистем АСУ.

2. Розробка структури ЗЧ АСУ.

2.1. Вибір (обґрунтування) структури ЗЧ АСУ.

2.2. Проектування окремих видів забезпечення.

Крім того, в діючій АСУ важливо створювати організаційну структуру АСУ, яка визначається складом і взаємозв'язками окремих структурних підрозділів в умовах експлуатації АСУ. Тому до названих основних проблем в подальшому була додана проблема управління розробками АСУ.

Систему управління розробками АСУ можна вважати третьою складовою АСУ і розділити її на такі завдання:

3.1. Розробка структури організаційного забезпечення управління розробками АСУ (на перших етапах ця задача зводиться до визначення структури підрозділу, який розробляє АСУ, а по мірі розвитку - до визначення взаємовідносин між підрозділами-розробниками і підрозділами, що використовують результати розробки в практичній діяльності, а також підрозділами, що підготовлюють і контролюють введену інформацію). Іноді цю складову виділяють в самостійну проблему.

3.2. Створення інформаційної системи для забезпечення проектування підсистем і завдань АСУ.

Структура етапів розробки АСУ наведена на рис. 7.11. При застосуванні системного аналізу для обґрунтування структури функціональної частини АСУ так само, як і при розробці структур цілей і функцій систем управління, виділяється два основних етапи, які діляться на підетапи у відповідності до обраних методик структуризації цілей (див.розд.4).

Перший етап методики практично збігається з узагальненою методикою формування цілей (основних напрямів) і функцій підприємств, другий - відрізняється вибором критеріїв, більшим використанням непрямих кількісних оцінок, пов'язаних з оцінкою доцільності і можливості автоматизації (таких, як обсяги масивів, кількість підрозділів, що використовують інформацію бази даних, яка розроблюється, кількість документів, що готуються на основі бази даних тощо).

Спочатку основною формою подання структури ФЧ АСУ була деревоподібна ієрархічна структура. АСУ ділилася на підсистеми або комплекси задач, підсистеми - на групи завдань,

а останні, в свою чергу, на окремі завдання.

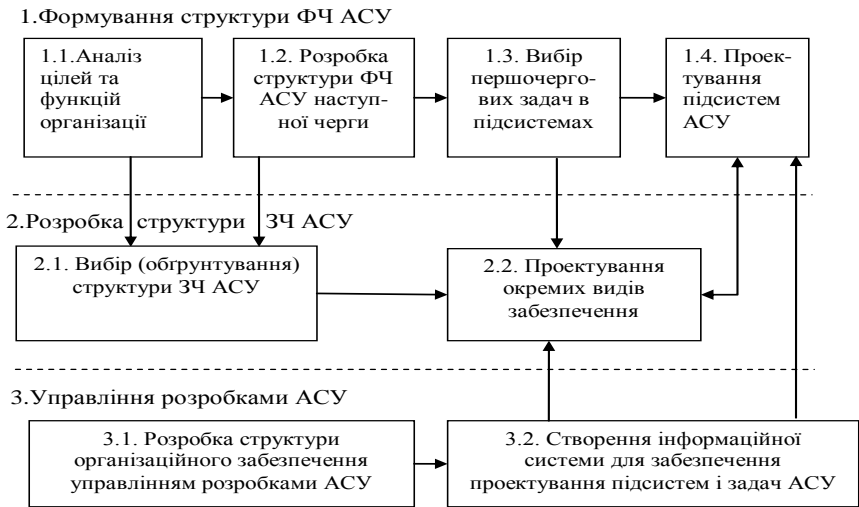


Рис. 7.11. Етапи розробки АСУ

Підсистеми в перших структурах ФЧ АСУ, а потім і в типовій були орієнтовані на основні функціональні підрозділи існуючих систем організаційного управління, звідки і відбувся термін «функціональні підсистема».

Число підсистем в АІС першої черги конкретних підприємств було різним, але зазвичай не перевищувало числа підсистем типової АСУП. Число завдань по підсистемах коливалося досить в широких межах, в залежності від прийнятої деталізації завдань і конкретних особливостей підприємства. Однак у міру розвитку АСУ кількість підсистем збільшувалася. При зростанні кількості підсистем порушується важлива вимога до ієрархічних структур - гіпотеза Міллера, згідно з якою число складових одного вузла повинно бути 7 ± 2 .

Труднощі управління розробками АСУ при істотному збільшенні кількості підсистем, тобто числа складових на верхньому рівні ієрархічної структури ФЧ, привели до того, що на деяких

предметвах стали вводити ще один узагальнений рівень, який був запропонований на Волзькому автозаводі і названий *напрямами*.

Напрямок об'єднував кілька підсистем, пов'язаних між собою. В принципі можна було б збільшити підсистеми, проте на той час в практиці розробок АСУ з поняттям підсистеми був пов'язаний цілком визначений обсяг робіт, тому більш зручним виявилось ввести новий термін. Надалі в міру розвитку АСУ з'явилася (вперше на ВАЗі) нова форма автоматизованих систем - *організаційно-технологічні АСУ (АСУ ОТ)*, які створювалися для підвищення ступеня оперативного управління окремими ділянками виробництва. АСУ ОТ поєднують функції управління технологічними процесами (АСУ ТП) і функції організаційного управління виробництвом (АСУВ), причому велика частина масивів організаційного управління формується на основі масивів управління техпроцесами (що можливо тільки при практично повній автоматизації технологічних процесів). Підсистеми АСУ ОТ виникали або на основі АСУ ТП, або - як розвиток підсистем АСУВ.

Спочатку АСУ ОТ розглядали як один з напрямів. Але ієрархічний принцип подання має в числі своїх специфічних особливостей прагнення до відособленості виділених ланок, тобто в ієрархічних структурах сильні вертикальні зв'язки і гранично ослаблені горизонтальні взаємозв'язки між напрямками, підсистемами, які після їх виділення в самостійні починають розвиватися незалежно, нібито змагаючись один з одним. Тому, якщо включити АСУ ОТ в структуру ФЧ АСУ як рівноцінний напрямок з АСУ ТП і АСУВ, то в міру самостійного розвитку цих напрямків можливе дублювання робіт у цих трьох напрямків, їх виявилось зручніше помістити в структурі один під одним.

У цьому випадку встановлюються вертикальні узгоджуючі взаємозв'язки між підсистемами і завданнями цих напрямів і в міру розвитку підсистем АСУ ОТ в напрямку посилення функцій організаційного управління переводити їх на рівень АСУ ОТ, а в міру підсилення функцій управління технологічними процесами в підсистемах АСУП «відпускати» їх на рівень АСУ ОТ. Надалі, по мірі розвитку підприємств та їх АСУ,

особливо в умовах надання більшої самостійності виробництвам і цехам і перерозподілу управлінських функцій між адміністрацією підприємства та керівниками виробництв і цехів, також стало більш зручним представляти структуру ФЧ АСУ у вигляді *багаторівневої, стратифікованої*.

Поділ АСУ на функціональну частину та частину забезпечення, а останню - на інформаційне забезпечення (ІЗ), технічне (ТЗ), організаційне (ОргЗ), програмне (ПЗ) та інші види забезпечення - дозволило залучити для уточнення відповідних видів забезпечення фахівців у цих областях . Такий підхід до організації розробок АСУ допоміг впоратися зі складністю системи та прискорити розробку АСУ шляхом паралельного проведення робіт з аналізу та вибору структури окремих видів забезпечення.

Однак якщо розробляти окремі проекти ІЗ, ТЗ, ОргЗ та інших видів забезпечення, то після розробки цих проектів виникла досить складна задача їх узгодження (цілей, структур, критеріїв, тощо), Тому на певному етапі розвитку робіт зі створення АСУ був навіть сформульований спеціальний принцип - єдності ІЗ, ТЗ і ОргЗ як основних видів забезпечення, при розробці структур яких виникали неузгодженості - і було рекомендовано проектувати структуру ЗЧ АСУ з самого початку як єдину з уточненням структур окремих видів забезпечення в рамках спільного проекту.

З урахуванням сказаного завдання обґрунтування структури ЗЧ АСУ можна сформулювати наступним чином. структурою ЗЧ АСУ називається мережа інформаційних служб (Головний інформаційно-обчислювальний центр, локальні обчислювальні центри виробництв, цехів та інших підрозділів, автоматизовані робочі місця та інші складові ОргЗ) з розміщеними в ній масивами зберігання інформації, документами (ІЗ), технічними засобами реєстрації, зберігання, передачі, обробки, представлення інформації (ТЗ), програмним забезпеченням (ПЗ), методичним забезпеченням (інструкціями для користувачів, положеннями про підрозділи тощо) та іншими видами забезпечення. Вибір структури ЗЧ - завдання найкращого розміщення всіх цих компонентів з урахуванням єдиної узгодженої системи критеріїв

та обмежень, що забезпечують найбільш ефективну реалізацію підсистем і завдань, включених до структури ФЧ АСУ на відповідному етапі її розвитку (тобто відповідної черги АСУ).

Завдання в такій постановці на перший погляд здається практично нерозв'язаною. Дійсно, уявити це завдання класом *добре організованих* систем, тобто створити математичну модель, в якій взаємозв'язки між компонентами структури ЗЧ і цілями (завданнями, які входять в структуру ФЧ) були б описані у вигляді аналітичних залежностей, практично неможливо. Більш реально уявити цю задачу моделлю *погано організованої* системи, тобто використовувати статистичні дослідження, що відображають основні характеристики потоків інформації, і на цій основі запропонувати структуру ОргЗ, інформаційних масивів, необхідних технічних засобів, тобто розробити орієнтовний варіант структури ЗЧ. Проте і цей шлях - не кращий з точки зору витрат часу і доведення правомірності прийнятого рішення.

Найбільш доцільно відобразити завдання за допомогою класу *самоорганізованих, розвиваючих* систем і організувати процес «вирощування» структури ЗЧ за допомогою моделі поступової формалізації завдання. Для цього завдання неможливо створити одразу математичну модель, в якій взаємозв'язки між компонентами структури ЗЧ і цілями, завданнями, які входять в структуру функціональної частини (ФЧ), були б описані у вигляді аналітичних залежностей. Тому було запропоновано організувати процес «вирощування» структури ЗЧ за допомогою моделі поступової формалізації завдання. Для формування та аналізу моделі поступової формалізації була розроблена методика системного аналізу, що поєднує методи, які допомагають створити мову моделювання, процедуру оцінки варіантів рішення й автоматизувати процес «вирощування» рішень.

Можливий варіант зміни методів у міру розвитку моделі проілюструємо на спрощеному прикладі моделювання процесів проходження інформації при виборі структури, що забезпечує частини автоматизованої інформаційної системи. Основна ідея поступової формалізації ілюструється рис. 7.12,а. Потім для

уточнення складу видів забезпечення можна застосувати теоретико-множинні уявлення (рис. 7.12,б), що допомагають спочатку розширити склад видів забезпечення, знайти способи об'єднання елементів з різних підмножин (рис. 7.12,в).

Структурні представлення

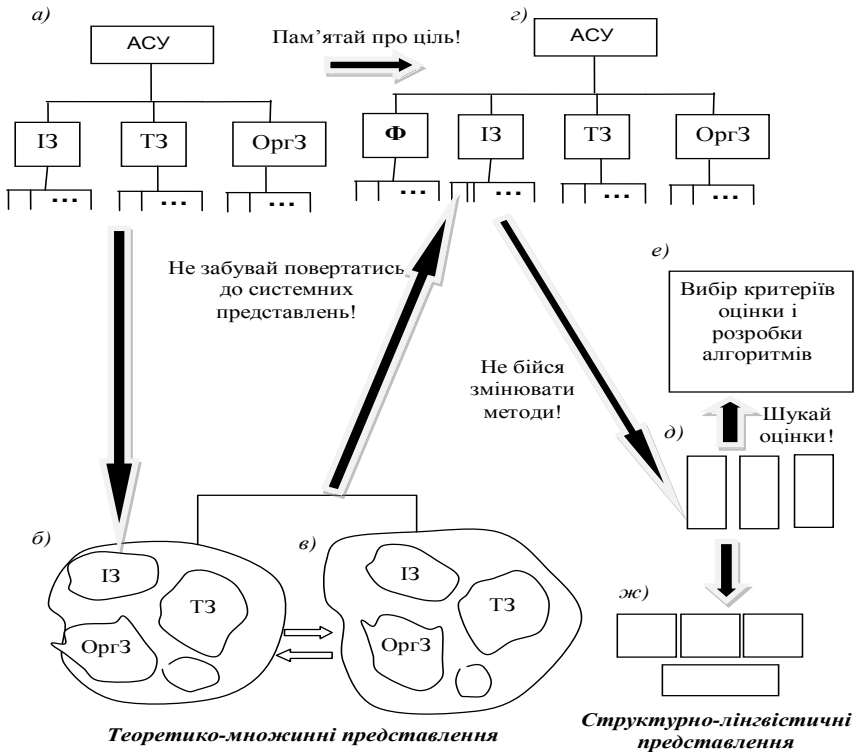


Рис. 7.12. Модель проходження інформації при виборі видів забезпечення

При цьому може бути використаний ефект отримання нового змісту у елементів, сформованих з «пар», «трійок», «п-ок» елементів вихідних підмножин, на які попередньо розділена загальна множина елементів. В практиці розробки АСУ цьому

етапу відповідав пошук взаємозв'язків між компонентами ЗЧ за допомогою формування та експертної оцінки матриць типу «ТЗ-ОргЗ» або «ІЗ-ТЗ». На основі оцінки елементів матриць «ТЗ-ОргЗ» розміщувались технічні засоби в підрозділах підприємства. У матрицях «ІЗ-ТЗ» оцінювалося, за допомогою яких технічних засобів слід обробляти відповідні документи, що спочатку при обмежених потужностях ЕОМ було виправдано.

Однак на основі аналізу матриць, що відображають деякі взаємозв'язки між компонентами ЗЧ, вирішити задачу формування структури ЗЧ не вдається. Аналіз матриць, взаємоузгодження отриманих з їх допомогою зв'язків між елементами - вельми трудомістка робота, що затримує розробку АІС. Тому згідно даного підходу доцільно повернутися до *системно-структурних представлень*, за допомогою яких активізується використання інтуїції та досвіду ОПР, аналізується перелік множин і при необхідності доповнюється принципово важливими підмножинами для подальшого моделювання.

Зокрема, у розглянутій задачі перелік вихідних підмножин - інформаційне, технічне і організаційне забезпечення (ІЗ, ТЗ, ОргЗ відповідно), доповнений підмножиною завдань, що входять в структуру ФЧ АСУ, і функцій Ф (рис. 7.12,г), які виконуються при вирішенні задач збору і первинної обробки інформації, що входять в структуру ФЧ АСУ 1-ї черги.

Для подальшої реалізації ідеї комбінування елементів в пошуку варіантів вирішення задачі (тобто шляхів проходження інформації при її зборі та первинній обробці) можуть бути обрані більш зручні, такі, що підказують правила формування варіантів лінгвістичні уявлення, що є основою розробки мови моделювання шляхів проходження інформації.

У розглянутому прикладі використано поєднання лінгвістичних, семіотичних та графічних представлень та розроблена мова графо-семіотичного моделювання (який в первинних варіантах використання розглянутого підходу іноді носив і інші назви - структурно-лінгвістичного, сигнатурного (знакового) моделювання). В результаті за допомогою мови моделювання запропонована багаторівнева модель (рис. 7.12,д), що дозволяє формувати варіанти інформаційних потоків. Після формування

варіантів проходження інформації необхідно вибрати критерії та способи оцінки графо-семіотичної моделі (рис. 7.12,е). Для цього можуть бути прийняті також різні варіанти - від експертної оцінки варіантів збору і первинної обробки інформації (нижній рівень. рис. 7.12.д) до пошуку алгоритмів послідовного перетворення оцінок компонентів попередніх рівнів моделі в оцінки компонентів наступних рівнів.

У результаті виходить система алгоритмів, що забезпечує можливість автоматизації і відповідно повторюваність процесу формування та аналізу моделі при зміні наборів первинних елементів і їх оцінок. Ця система алгоритмів забезпечує взаємозв'язок між компонентами і цілями системи тобто в результаті виходить формальна, аналітична модель, тільки представлена не у вигляді звичних для такого роду моделей формул або рівнянь, а у вигляді алгоритмів і їх програмної реалізації в пам'яті ЕОМ.

Структура отриманої методики формування і аналізу інформаційних потоків наведена на рис. 7.13. Етапи 1-7 виконуються по кожній із завдань ФЧ АСУ, а потім проводяться змістовна інтерпретація, узагальнення результатів моделювання задач ФЧ АСУ і визначення на цій основі складу необхідних і достатніх компонентів структури ЗЧ.

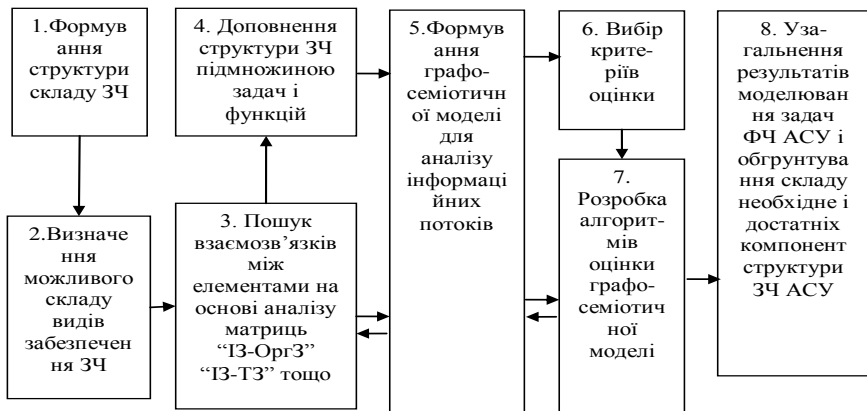


Рис. 7.13. Методика формування і аналізу інформаційних потоків

Послідовність етапів може бути інша, ніж на рис.7.12 і 7.13. Наприклад, спочатку можна застосувати цільовий підхід і проводити активне обстеження, відбір елементів моделі за допомогою попередньо сформованої структури функцій, на основі якої провести опитування співробітників досліджуваного або аналогічних об'єктів, отримати необхідні відомості в документах тощо. Або можна звернутися до оцінок раніше, ніж це зроблено на рис. 7.12, - оцінити значимість підцілей і функцій, що допомогло б прискорити вибір кращого варіанта. При виконанні етапу 5 корисно звертатися до етапу 3, а при виконанні етапу 7 - до етапу 5, що показано на рис. 7.13.

Наведений приклад демонструє, що поступова формалізація стає свого роду «механізмом» розвитку системи, «виращування» моделі прийняття рішення. В результаті можна отримати різні варіанти формалізованої моделі. тощо). При «виращуванні» моделі можна накопичувати інформацію про об'єкт, фіксуєчи все нові компоненти, зв'язки, правила взаємодії компонентів, і, використовуючи їх, отримувати відображення послідовних станів системи, що розвивається, поступово створюючи все більш адекватну модель реального, досліджуваного або створюваного об'єкту . При цьому інформація може надходити від різних фахівців і накопичуватися в часі в міру її виникнення в процесі розвитку об'єкта і наших уявлень про нього.

При постановці завдання для принципово нового об'єкта або процесу поступова формалізація дозволяє обґрунтувати принципи розробки мови автоматизації моделювання та узагальнену формальну модель з покроковим доказом її адекватності на кожному витку моделювання. Тобто головна суть підходу – застосування ідеї поступової формалізації для формування нового алгоритму, одержання нової методики системного аналізу в тих випадках, коли має місце велика початкова невизначеність завдання і відсутні аналоги для її вирішення.

Література:

1. Берталанфи Л. фон. Общая теория систем. — 2-е изд. — М.: Мир, 1960. — 328 с.
2. Блауберг И. В. Проблема целостности и системный подход. — М.: Эдиториал УРСС, 1997. — 446 с.
3. Бор-Раменский А.Е. Технологические и технические модули автоматизированных производств (системный подход к проблеме). — Л.: Наука, 1989. — 227 с.
4. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем: Учеб пособие. — М.: Высш. шк., 2006. — 511 с.
5. Гиг Дж., Ван. Прикладная общая теория систем: Пер. з англ.- М.: Мир, 1981. — 336 с.
6. Добронравова И. С. Синергетика: становление нелинейного мышления. — К.: Лыбидь, 1990. — 150 с.
7. Жариков О.Н., Королевская В.И., Хохлов С.Н. Системный подход к управлению: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. В.А. Персианова. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 62 с.
8. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Системний аналіз: проблеми, методологія, застосування. — К.: Наук. думка, 2005. — 744 с.
9. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Основи системного аналізу. — К.: Видавнича група ВНУ, 2007. — 544 с.
10. Ильин В.В. Моделирование бизнес-процессов. Практический опыт разработчика. — М.: ООО “И. Д. Вильямс”, 2006. — 176 с.
11. Катренко А.В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації: навчальний посібник. — Львів: Новий світ — 2000. — 424 с.
12. Клиф. Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1990. — 544 с.
13. Кирилович В.А., Крижанівський В.Б., Сачук І.В. Основи системного аналізу. Практикум: Навчальний посібник. — Житомир: ЖДТУ, 2004. — 104 с.

14. Колодницький М.М. Основи теорії математичного моделювання систем: Навчально-довідниковий посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2001, т.1 – 718 с.
15. Ладанюк А.П. Основи системного аналізу. – Навчальний посібник. – Вінниця, Нова книга, 2004. – 176 с.
16. Миротин Л.Б., Ташбаев Ы.Э. Системный анализ в логистике: Учебник. – М.: “Экзамен”, 2002. – 480 с.
17. О’Коннор Дж. Искусство системного мышления: Необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем / Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 256 с.
18. Пальчевский Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): навчальний посібник. – Львів: Світ, 2001. – 232 с.
19. Панов А.Ф. К научно-организованному обществу: пути и механизмы (кибернетический подход): монография. – Житомир: ЖГТУ, 2010. – 590 с.
20. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
21. Принципы организации социальных систем: Теория и практика / Под ред. М. И. Сегрова. — К.; Одесса: Выща шк., Голов. изд-во, 1988. — 242 с.
22. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процесов. – М.: РИА “Стандарты и качество”, 2004 – 408 с.
23. Робототехника и ГАП. В 9-ти книгах. Кн. 1. И.М. Макаров. “Системные принципы создания ГАП: Учебн. пособие для втузов”. – М.: Высшая школа, 1986. – 175 с.
24. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н.Волкова, В.А.Воронков А.А. и др.. – М.: Радио и связь, 1983. – 248 с.
25. Терри Катрани. Визуальное моделирование с помощью Rational Rose 2002 и UML.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 192 с.
26. Шарапов О.Д. Системний аналіз: Навч. Посібник. – К.: Вища школа, 1993. – 303 с.

27. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем: наука и искусство. – М.: Мир, 1978. – 302 с.
28. Шмоллер Джозеф. Освой самостоятельно UML за 24 часа, 3-е издание.: Пер. с англ. – М.: ООО “И. Д. Вильямс” - 416 с.
29. Швець В.І., Шостачук Д.М. Виконавчі механізми, регулювальні органи і пристрої: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Житомир: ЖДТУ, 2007. – 211 с.
30. <http://www.sap.com/cis/pdf/ARIS.pdf>
31. <http://www.cfin.ru/vernikov/idef/>
32. <http://www.process.siteedit.ru/page37>
33. <http://www.nsu.ru/smk/files/idef.pdf>
34. <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=6855&iid=280>
35. <http://chornobyl.in.ua/3d-model-chaes.html>