

ОПОРНИЙ
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни

ТЕОРІЯ СИСТЕМ І
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ТЕМА 1. РОЗВИТОК СИСТЕМНИХ УЯВЛЕНЬ ТА НЕОБХІДНІСТЬ ВИНИКНЕННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ	6
1.1 Сучасні уявлення про склад загальної теорії систем	6
1.2 Історія розвитку системних уявлень.	6
1.3 Основні напрямки системних досліджень.	7
1.4 Передумови та необхідність виникнення системного підходу.	8
1.5 Предмет системного аналізу.	9
ТЕМА 2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ	12
2.1 Принципи системного підходу.	12
2.2 Поняття системи, елементу, навколишнього середовища, мети, декомпозиції, елементу, функції, стану, процесу.	14
2.3 Поняття та класифікація структур систем. Особливості структурно- топологічного аналізу	16
2.4 Види потоків в системах. Діаграми потоків даних	22
ТЕМА 3. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМ	26
3.1 Загальні підходи до класифікації систем.	26
3.2 Класифікація КІС за принципом функціонування.	27
3.3 Поняття складності та масштабності систем.	27
3.4 Властивості складних систем.	28
3.5 Класифікація систем за способом керування.	29
ТЕМА 4. МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ	30
4.1 Моделювання як спосіб наукового пізнання та його призначення в СА. Поняття адекватності моделі.	30
4.2 Класифікація моделей.	31
4.3 Короткий запис моделі.	32
ТЕМА 5. АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ В СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ	34
5.1 Аналітичний підхід до дослідження складних систем.	34
5.2 Повнота моделі. Декомпозиція та агрегування.	35
5.3 Види агрегатів СА.	37
5.4 Системні особливості моделей інформаційних систем.	38
ТЕМА 6. МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ	41
6.1 Аксиоматичний підхід дослідження систем.	41
6.2 Метод “чорної скриньки”. Невизначеність при побудові моделей “вхід вихід”.	41
6.3 Проблеми побудови оптимізаційних моделей в системному аналізі.	42
6.4 Імітаційне моделювання при прийнятті рішень.	43
ТЕМА 7. СИСТЕМНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ СТОХАСТИЧНОГО ТА ТЕОРЕТИКО-МНОЖИННОГО ПІДХОДІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ “ВХІД-ВИХІД”	44
7.1 Основні задачі синтезу моделей “вхід-вихід” статичних систем на основі експериментальних даних.	44
7.2 Особливості стохастичного підходу.	46
7.3 Основні етапи регресійного аналізу.	47
7.4 Методологія теоретико-множинного, інтервального підходу.	49
7.5 Планування насичених експериментів у випадку інтервального представлення вихідних змінних моделей статичних систем.	55
7.6 Методологічні аспекти структурної ідентифікації моделей систем.	58

ТЕМА 8. СИСТЕМНІ АСПЕКТИ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	63
8.1 Прийняття рішень в умовах багатокритеріальності.	63
8.2 Емпіричні методи встановлення важливості критеріїв.	64
8.3 Прийняття рішень в умовах нечітко заданих критеріїв.	65
ТЕМА 9. ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДОЛОГІЙ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ	68
9.1. Послідовність методологія-метод-нотація-засіб.	68
9.2. Методології системних досліджень.	69
9.3. Основні етапи розв'язування проблем в КІС. Поняття життєвого циклу системи.	70
9.4. Методологія системного дослідження, орієнтована на дослідження існуючих систем та виявлення проблем	74
ТЕМА 10. ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ	78
10.1 Метод дерева цілей.	78
10.2 Метод Дельфі.	80
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	83

ВСТУП

Мета викладання дисципліни «Теорія систем і системний аналіз» – ознайомити студентів з методологією дослідження таких властивостей та відношень на об'єктах комп'ютеризації які важко спостерігаються шляхом представлення цих об'єктів у вигляді цілеспрямованих систем; надати практичні навички застосування системної методології для аналізу, моделювання та проектування складних об'єктів, побудови комп'ютерних інформаційних систем (КІС), розв'язування інформаційних проблем в них; розвинути навички використання практичних методологій системного аналізу (СА) для логіко-фізичного моделювання та проектування КІС; сформувати у майбутніх спеціалістів системне мислення.

В результаті вивчення курсу студенти повинні *знати*: етапи розвитку системних уявлень, основні напрямки системних досліджень, основні поняття (СА) та принципи системного підходу; системно-методологічні аспекти моделювання; методології та методи СА; методи отримання інформації для СА; основні методології проектування КІС; *вміти*: розрізняти проблеми, до яких застосування СА є доцільним; інтерпретувати основні поняття СА та принципи системного підходу до КІС та об'єктів комп'ютеризації; класифікувати системи та методи системного моделювання; застосовувати аналітичний та синтетичний підходи до моделювання КІС та об'єктів комп'ютеризації; побудувати життєвий цикл системи, застосовувати методології, методи та алгоритми системного аналізу для розв'язування проблем на складних об'єктах комп'ютеризації; організувати збір інформації для СА відповідно до принципів системного підходу; застосовувати методології СА при проектуванні конкретних КІС.

Даний методичний посібник включає 80% змістовних модулів курсу «Теорія систем і системний аналіз», який викладається для студентів, що навчаються за спеціальністю “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”. Для перевірки отриманих знань в навчальному посібнику наведені тестові завдання, для проведення яких додається дискета з програмним забезпеченням, розроблена автором. Зручність такого підходу очевидна – за короткий проміжок часу є можливість об'єктивно оцінити знання достатньо великої групи студентів. Програмне забезпечення з наявними тестами може також бути використане для перевірки знань теоретичної частини студентами у процесі екзаменування.

ТЕМА 1. РОЗВИТОК СИСТЕМНИХ УЯВЛЕНЬ ТА НЕОБХІДНІСТЬ ВИНИКНЕННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

- 1.1 Сучасні уявлення про склад загальної теорії систем
- 1.2 Історія розвитку системних уявлень.
- 1.3 Основні напрямки системних досліджень.
- 1.4 Передумови та необхідність виникнення системного підходу.
- 1.5 Предмет системного аналізу.

1.1. Сучасні уявлення про склад загальної теорії систем

Загальна теорія систем вивчає можливі аспекти дослідження систем, в тому числі і прийняття рішень в них. Системний аналіз є складовою частиною теорії систем разом із такими дисциплінами, як: кібернетика, інформатика, дослідження операцій та системотехніка.

Розвиток методів системного аналізу в основному пов'язаний із розвитком складових частин загальної теорії систем.

Кібернетика – вивчає системи зі зворотнім зв'язком і аспект керування інформацією в цих системах, розглядаючи при цьому строго формалізовані задачі.

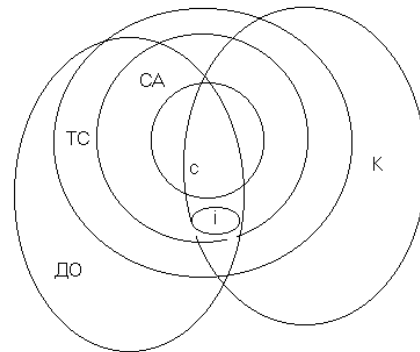
Інформатика – займається дослідженням процесів збереження, накопичення, перетворення, передачі даних та інформації із застосуванням комп'ютерної техніки.

Дослідження операцій – вивчає методи прийняття рішень при цьому переважно розглядаються формалізовані задачі.

Системотехніка – наука, яка вивчає застосування методів системного аналізу для дослідження технічних схем.

Системний аналіз – це сукупність методологічних засобів, які використовуються для підвищення ступеня обґрунтованості рішень у складних (слабко-структурованих) проблемах політичного, військового, наукового, соціального і економічного характеру. Системний аналіз передбачає розгляд об'єктів як систем, переважно цілеспрямованих. Основні методологічні засади системного аналізу базуються на принципах системного підходу.

ТС – теорія систем
К - кібернетика
ДО – дослідження операцій
СА – системний аналіз
С - системотехніка
І - інформатика



Необхідність вивчення методологій та методів системного аналізу обумовлена потребами його застосування при створенні та розвитку комп'ютеризованих інформаційних систем. У яких існують складні часто слабко структуровані зв'язки між елементами. Не систематизоване внесення змін в елементи та зв'язки цих систем часто призводить до зниження ефективності їх функціонування.

1.2. Історія розвитку системних уявлень

Історія розвитку методів системного аналізу стосується розвитку складових загальної теорії систем і пов'язана із розвитком двох понять: системності та керування, яке включає етапи прийняття рішень. Обидва поняття усвідомлено чи неусвідомлено застосовували ще з давніх-давен.

Розглянемо основні історичні віхи, які супроводжували наукове становлення цих понять.

І. Питання про науковий підхід до керування складними системами 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.

II. 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». Особливістю праці Броніслава Трентовського було відображення наукових основ практичної діяльності керівника – «гі-бернета». Сенс грецького слова $\chi\omicron\beta\epsilon\rho\nu\omega$ (гіберно) був добре зрозумілий ще в XIX-му сторіччі — адміністративна одиниця, населена людьми. В ширшому сенсі — об'єкт керування, до складу якого входять люди, а $\chi\omicron\beta\epsilon\rho\nu\epsilon\tau$ (гібернет) — особа, що керує ресурсами та людьми, які населяють територію, 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. Броніслав Трентовський далеко просунувся в розумінні та усвідомленні системності людських колективів, груп, розумінні складності керування людьми.

III. Наступний етап у вивченні системності як самодостатнього предмета пов'язаний з прізвищем **О. О. Богданова** (справжнє прізвище – Малиновський), який протягом 1911-1925 рр. видав 3 томи книги «Всеобщая организационная наука (тектология)».

За Богдановим в суспільстві (і в біологічних системах) існує функціональна сторона, його прагнення швидко адаптуватися, і консервативна – 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. 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.

IV. Відчутний вплив на усвідомлення деяких аспектів поняття системності та особливо керування мають роботи **Н. Вінера**.

Його праця «Кібернетика», що вийшла з друку в 1948 р. визначає кібернетику як «науку про управління та зв'язок в тваринах та машинах». Пізніше Вінер почав аналізувати процеси в людському суспільстві з точки зору кібернетики. 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 важливого напрямку моделювання — імітаційного). Однак кібернетика найбільш сильно проявила свої можливості при дослідженні технічних систем.

V. 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, розвиваючи 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, теорію інформації, теорію рішень, топологію, факторний аналіз, теорію множин, теорію мереж, теорію автоматів, теорію масового обслуговування, теорію графів.

1.3. Основні напрямки системних досліджень

Людвіг фон Берталанфі виділяє наступні три основні тенденції в ЗТС: наука про системи; системна технологія; системна філософія.

1. **Наука про системи** досліджує застосування системних концепцій у фізичних, суспільних науках та науках про поведінку емпіричним чином. Увага зосереджується на науковому вивченні цілого та цілісності на протигагу до поелементного, редуціоністського підходу. Реалізуються спроби оцінки рівнів складності та способів взаємодії і взаємних стосунків

між компонентами системи, що аналізується. Широко використовуються математичні моделі для визначення подібності та ізоморфізмів в різних видах систем.

2. **Системна технологія** розглядає проблеми, що виникають у промисловості та суспільстві, які можна досліджувати шляхом застосування теорії систем. У системному аналізі, науці про управління, дослідженні операцій, інформатиці та промисловій інженерії концепції ЗТС трансформуються при пошуку практичних розв'язань конкретних проблем.

3. **Системна філософія** намагається концептуалізувати взаємні зв'язки та взаємні залежності між теоріями, що сформульовані в різних сферах наукових досліджень, є спробою об'єднати розділи традиційної науки в межах філософських концепцій загальних систем.

Особливо слід відзначити розвиток системної технології стосовно технічних систем, що дозволило започаткувати новий науковий напрямок – системотехніку. **Системотехніка** виникла у США на початку 50-х років і описує своєрідні «правила поведінки» інженера, що конструює складні системи. Основними завданнями системотехніки є:

- виявлення та описання найзагальніших системних характеристик та закономірностей, що не залежать від конкретного типу технічних комплексів;
- розроблення експериментальних методів, що дозволяють з достатнім рівнем достовірності та за умови прийняттого об'єму ресурсів оцінити теоретичні концепції;
- розроблення методів реалізації принципів системотехніки при створенні та використанні конкретних систем.

Розвиток основних тенденцій в ЗТС спричинив виникнення системології. Вона розглядається як «комплекс понять і концепцій, що стосуються і системного підходу, і системного аналізу, і загальної теорії систем, і системотехніки, і теорії ієрархічних систем», тобто є поєднанням «науки про системи» та окремих аспектів «системної філософії».

1.4. Передумови та необхідність виникнення системного підходу

Зародження системного аналізу пов'язують з 2-ю світовою війною та діяльністю «Ренд Корпорейшн» в області планування розвитку озброєнь.

Початкове в системному аналізі (СА) найповніше використовувались методи та математичні засоби теорії дослідження операцій, але в подальшому почали широко застосовуватися евристичні методи (Дельфі, ПАТТЕРН та інші).

Суттєвим в системному аналізі є наступне: аналіз систем є способом розгляду проблеми; математичний апарат та комп'ютери можуть бути тут необхідними, але інколи достатніми можуть бути серйозні роздуми над проблемою; в будь-якому аналізі, що пов'язаний з прийняттям рішення в умовах невизначеностей, метою якого є вплив на вибір способу дії, незалежно від його складності, наявні такі елементи, як ціль (цілі), альтернативи (засоби досягнення цілей), витрати чи ресурси (те, що необхідно витратити для реалізації кожної з альтернатив), модель, критерії, згідно з якими обирається альтернатива.

Система є тим ізоморфним принципом, який проникає через усі кордони, що склалися між окремими науками історично, незалежно від того, що ці науки вивчають якісно зовсім різні класи явищ: машини, організми, суспільство.

Системний підхід виник як реакція на бурхливий розвиток аналітичних підходів в науці, які все більш віддаляли творчу думку від проблеми «цілісного організму». Серед підходів, які суттєво вплинули на формування принципів системного підходу слід виділити: логічний позитивізм, аналітична дедукція, редуccionізм, казуальна (причинна) логіка, індуктивний підхід.

Логічний позитивізм стверджує, що існує «об'єктивна» реальність, яка є незалежною та неспотвореною нашими особистими перспективами чи суб'єктивними інтерпретаціями світу. Однак факти є багатовимірними і можуть інтерпретуватися по-різному. Крім того, кожна група вчених надаватиме особливе значення такому підходу до розв'язання складних проблем, який є найсуміснішим з її філософією та методологією.

Аналітична дедукція та редуccionістська логіка стверджують, що найкраще можна пояснити ціле шляхом пояснення його частин, тобто редуccionіст розв'язує складну проблему шляхом розбиття її

на складові та окремого дослідження кожної з них, що приводить до розвитку спеціалізованих дисциплін з певними сферами дослідження та впливу. Отже, виникає множинність в підходах, вчені спілкуються в межах своїх дисциплін, не розуміють наукову мову (тезаурус предметної області) один одного і не є в стані оперувати з системними проблемами.

В більшості випадків наше мислення ґрунтується на **концепції причинності**, монолітної **казуальної (причинної) логіки**. Згідно детерміністської концепції, спостереження (колишні стани системи) разом із законами природи визначають її майбутній стан

Редукціонізм є позитивним явищем у тому сенсі, що він забезпечує концептуальну основу, засоби і процедури для ідентифікації та вивчення важливих факторів, що входять у визначення проблеми. Однак дедуктивні методи не працюють або працюють погано, якщо наявно багато пов'язаних між собою факторів або вони неусвідомлені як фактори.

Індуктивний погляд ґрунтується на узагальненні окремих спостережень, тобто різні наукові дисципліни — це необхідні, але недостатні підґрунтя, використовуючи які ми формуємо теорії про досвід та знання.

Системний підхід синтезує індуктивний та дедуктивний спосіб мислення з залученням інтуїтивних підходів (натхнення, образні типи мислення та ін.).

Одним з призначень системного аналізу (СА) є правильний відбір системного інструментарію для розв'язання поставленої проблеми.

Декомпозиція мети — теж одне з призначень СА.

Ще одне призначення СА — це формування критеріїв відбору засобів для досягнення цілей.

Обґрунтування вибору рішення — це теж одне з призначень СА.

Призначення системи, створеної людьми, спочатку визначається тими, хто її проектував, а пізніше користувачі пристосовують систему відповідно до своїх цілей.

Система може мати різні призначення в залежності від точки зору спостерігача.

Отже, поява та розвиток методів СА викликані новими рисами в тих проблемах, які людина повинна розв'язувати в сучасних умовах, а саме:

- зростання масштабу проблем, які підлягають вирішенню;
- зростання взаємного впливу проблем одна на іншу;
- великий ризик неефективних витрат та втрат — а це приводить до вимоги старанно обґрунтовувати рішення;
- необхідність правильної постановки цілей, формування програми їх досягнення.

1.5. Предмет системного аналізу

Системний аналіз спрямований на розв'язання складних проблем.

Проблема виникає тоді, коли є розходження 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 ступеня 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 систем; міждисциплінарний характер системних досліджень; органічна єдність формального та неформального при проведенні СА.

На відміну від доволі широкої системної методології **системний аналіз обмежують дві наступні особливості:**

- системні аналітики вивчають лише штучно створені системи, в яких людині належить надзвичайно важлива, а в багатьох випадках і вирішальна роль;
- 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, 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.

Системний аналіз застосовується для розв'язання складних проблем, що пов'язані з діяльністю людей.

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 **слабо структуровані 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 взаємно пов'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.

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).

Контрольні запитання.

- 1 Сучасні уявлення про склад загальної теорії систем
- 2 Історія розвитку системних уявлень.
- 3 Основні напрямки системних досліджень.
- 4 Передумови та необхідність виникнення системного підходу.
- 5 Предмет системного аналізу.

ТЕМА 2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

2.1 Принципи системного підходу.

2.2 Поняття системи, елементу, навколишнього середовища, мети, декомпозиції, елементу, функції, стану, процесу.

2.3 Поняття та класифікація структур систем. Особливості структурно-топологічного аналізу

2.4 Види потоків в системах. Діаграми потоків даних

2.1. Принципи системного підходу

Формулювання вимог до системи та до методології розв'язування проблем 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:

Принцип остаточної (глобальної) мети: глобальна мета системи має абсолютний пріоритет;

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

Принцип зв'язності: довільна компонента системи розглядається сумісно з її зв'язками з оточенням;

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;

Принцип ієрархії: в більшості випадків в системі доцільно реалізувати ієрархічну побудову та (або) впорядкування (можливий напівпорядок) її складових за важливістю;

Принцип функціональності: структура системи та її функції повинні розглядатися сумісно з пріоритетом функції над структурою;

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

Принцип децентралізації: в управлінні системою співвідношення між централізацією та децентралізацією визначається призначенням та метою системи;

Принцип невизначеності: невизначеності та випадковості повинні братися до уваги при визначенні стратегії та тактики розвитку системи.

Принцип остаточної (єдиної, генеральної, глобальної) мети означає, що в системі все повинно бути спрямоване на досягнення призначення, підпорядковане глобальній меті. Будь-які зміни, удосконалення та управління повинні оцінюватися виходячи з того, чи сприяють вони досягненню остаточної мети. В дещо модифікованому вигляді принцип остаточної мети застосовується до систем, що не є цілеспрямованими — для таких систем поняття остаточної мети замінюється поняттям основної функції, основної властивості системи. Принципи єдності, зв'язності та модульності доволі тісно пов'язані між собою, але якщо принцип єдності відображає «погляд ззовні» на систему, то принцип зв'язності орієнтує на «погляд зсередини» системи. На різних етапах дослідження системи ці погляди можуть знаходитися у різному співвідношенні.

Принцип модульності вказує на можливість розгляду замість частини системи сукупності входів та виходів цієї частини, тобто дозволяє абстрагуватися від зайвої деталізації за умови збереження можливості адекватного описання системи.

Принцип ієрархії акцентує увагу на корисності відшукування або створення в системі ієрархічного характеру зв'язків між її елементами, цілями, модулями. Ієрархічні системи, зазвичай, створюються та досліджуються «згори», починаючи з аналізу модулів вищих рівнів ієрархії. У випадку відсутності Ієрархії дослідник повинен вирішити, в якому порядку він буде розглядати складові системи та напрямок конкретизації своїх уявлень.

Принцип функціональності стверджує, що довільна структура тісно пов'язана з функціями системи та її складових, і створювати (досліджувати) структуру необхідно після зрозуміння функцій системи. З практичної точки зору це означає, що у випадку надання системі нових функцій доцільно переглядати її структуру, а не прагнути «втиснути» нову функцію в стару структуру.

Принцип розвитку повинен закладатися при побудові штучних систем як здатність до вдосконалення, розвитку системи за умови збереження якісних особливостей. Межі розширення функцій та модернізації повинні бути чітко усвідомленими творцями штучної системи, тому що існують доцільні межі універсальності системи. Можливості для розвитку закладаються шляхом надання системі властивостей до самонавчання, самоорганізації, штучного інтелекту.

Принцип децентралізації орієнтує на розумний компроміс між повною централізацією та наданням здатності реагувати на певні дії частинам системи. Система з повною централізацією буде негнучкою, нездатною до пристосування; ймовірно, що в такій системі інформаційні канали, що ведуть до керуючого елементу, виявляться перевантаженими, а сам керуючий елемент буде нездатним опрацювати таку велику кількість інформації. Однак чим децентралізованішими будуть рішення в системі, тим складніше їх узгодити з точки зору досягнення глобальної мети. Досягнення спільної мети в сильно децентралізованій системі може забезпечуватися лише стійким механізмом регулювання, що не дозволяє сильно відхилитися від поведінки, яка веде до досягнення спільної мети. В усіх таких випадках діє сильний зворотний зв'язок.

В системах, що не мають стійких механізмів регулювання, наявність того чи іншого рівня централізації є необхідністю, і це пов'язане з оптимальним співвідношенням керуючих дій, які отримуються «згори» певним елементом з діями, що продукуються цим елементом самостійно. Загальне правило є наступне: **ступінь централізації повинен бути мінімальним, що забезпечить досягнення остаточної мети.**

Окрім того є ще один аспект централізації та децентралізації: «згори» надходять узагальнені керуючі дії, які конкретизуються на нижніх рівнях. Оскільки конкретизація можлива неєдиним способом, то нижні рівні отримують ще один «ступінь свободи». Хоча, з іншого боку, з точки зору верхнього рівня, деякі керуючі дії загального характеру можуть бути неправильно проінтерпретовані нижнім рівнем.

Принцип невизначеності стверджує, що в багатьох (більшості, коли це стосується штучних систем за участю людини) випадках ми працюємо з системою, про яку ми не все знаємо, чи не все розуміємо у її поведінці. Це може бути система з невідомою структурою, непередбачуваним перебігом деяких процесів, зі значними відмовами, з невідомими зовнішніми втручаннями. Частковим випадком невизначеності є випадковість — ситуація, коли вид події відомий, але вона може трапитися, або ж ні. На ґрунті такого означення можна ввести повне поле подій — множину подій, про яку відомо, що якась з подій, що належать до цієї множини, обов'язково трапиться. Врахування невизначеності в системі можливо як на ґрунті принципу гарантованого результату, так і спробою описання за допомогою методів теорії ймовірності та математичної статистики або ж лінгвістичних змінних, а підвищення рівня надійності досягається шляхом введення резервування.

Принципи системного підходу є загальними положеннями, що відображають абстраговані від конкретного змісту прикладних проблем відношення.

Тому цілком послідовним є запитання: «Яким чином застосувати такі знання?»

Для конкретної системи чи проблемної ситуації принципи системного підходу повинні бути конкретизовані, тобто насамперед повинна бути дана відповідь на запитання: «Що означає той чи інший принцип у цій предметній області та в цій конкретній ситуації?» Наповнення принципів конкретним змістом виконується системним аналітиком. Це дозволяє у випадку складних систем краще побачити суттєві особливості проблеми, врахувати важливі взаємні зв'язки. В багатьох випадках інтерпретація системних принципів в конкретних умовах дозволяє піднятися на новий рівень розуміння системи загалом, вийти за межі розгляду її «зсередини». Така інтерпретація може приводити до висновків про відсутність умов для застосування деяких з принципів або їх незначного впливу в певних конкретних умовах.

Багаторазове застосування принципів системного підходу в різних системах приводить до розвитку у дослідника особливого, системного типу мислення. Саме тому результати застосування системних принципів та методологій є певною мірою мистецтвом і вимагають системноаналітичного досвіду.

2.2. Поняття: системи, елементу, навколишнього середовища, мети, декомпозиції, функції, стану, процесу.

Базовим поняттям системного аналізу є система. Незважаючи на загальність цього поняття, воно має чіткі трактування, залежно від джерел походження.

Виділяються дві групи визначень системи.

Першу групу утворюють визначення, які не виділяють поняття цілісності системи: «**Система – це множина об'єктів разом з відношеннями між об'єктами та між їх атрибутами (властивостями)**».

Історія визначень такого типу зрозуміла і має джерело походження – природничі науки, в яких дослідник йшов шляхом від простого до складного — поділяв систему на елементи, розглядав властивості окремих частин і способи їх взаємодії, отримуючи таким чином уявлення про систему як про сукупність взаємопов'язаних елементів. Однак не завжди із властивостей елементів та їх відношень можливим є виведення загальних властивостей системи.

Інша група визначень включає цілісність як важливу властивість системи (це поняття є властивим для складних систем). Дійсно, якщо в результаті детального вивчення системи знайдена властивість, яку не можна поставити у відповідність ні одному з її елементів, то визначення першої групи виявляється недійсним, і потрібно «довизначати» систему. В цьому сенсі **система – це комплекс взаємопов'язаних елементів та взаємозв'язків між ними, що утворюють цілісність, що є особливою єдністю з середовищем та є елементом «надсистеми», і цій цілісності притаманні властивості, мета цілі та функції не властиві окремим елементам.**

Виходячи з визначень цієї групи систему S будемо розглядати у вигляді кортежу

$$S = \langle M, X_S, X_{\bar{S}}, F \rangle,$$

де M – множина елементів системи, X_S – множина зв'язків між елементами системи, $X_{\bar{S}}$ – множина зв'язків між елементами системи та зовнішнім середовищем, F – множина нових (системних) функцій, властивостей, призначень.

Наявність істотних стійких зв'язків, саме істотних, а не будь-яких (відношень) між елементами або (та) їхніми властивостями, що перевершують по силі зв'язки (відношення) цих елементів з елементами, що не входять у дану систему, є важливим атрибутом системи. Саме ці зв'язки визначатимуть інтегративні властивості системи.

Властивість цілісності відрізняє систему від простого набору елементів і виділяє її з навколишнього середовища.

Важливими властивостями системи є комунікативність, інтегративність, ступінь рівноваги та стійкості, адаптація.

Комунікативність – ступінь зв'язку з зовнішнім середовищем.

Поняття інтегративності визначає фактори, які утворюють і зберігають систему.

Рівновага системи – це здатність зберігати деякий стан при відсутності збурень.

Стійкість – здатність системи повертатись до попереднього стану, після того як вона була з нього виведена.

Адаптація – здатність системи до цілеспрямованого пристосування.

Визначення елементів не системи (середовища), які пов'язані із системою, впливають на неї і є під її впливом, є надзвичайно важливим етапом системних досліджень.

Уведення часових характеристик при дослідженні системи розкриває суть важливих її властивостей перебувати у певному стані та змінювати ці стани в часі.

Стан системи – це зафіксовані значення характеристик системи, важливі для цілей дослідження. Зміна довільної з числа цих характеристик означатиме перехід системи до іншого стану. Отже, отримаємо набір станів, який ще не є процесом.

Процес – це набір станів системи, що відповідає впорядкованій неперервній або дискретній зміні деякого параметра, що визначає характеристики чи властивості системи. В більшості випадків таким параметром є час.

Процес зміни станів системи в часі відображає її **динаміку**. Процеси в системі мають різноманітне значення. Зокрема, процеси створення комп'ютеризованої інформаційної системи вимагають реалізації різних «під процесів», які забезпечують основну функцію розробника. Отже, процеси описуються як

залежності виходів від входів в модулях різного ступеня узагальнення або різного рівня ієрархії. При цьому принципово не важливо, чи сприяє, а чи перешкоджає загалом той чи інший процес реалізації системою своїх функцій.

Середовище – це сукупність всіх об'єктів, які впливають на систему, а також об'єктів, що змінюються під впливом системи, але не входять до її складу. Весь наш світ можна розглядати як гігантську систему, але ми не досліджуємо Всесвіт практично кожен раз, коли виникає проблема. Тому певна система є підсистемою Всесвіту, а Всесвіт лише в найбільш широкому сенсі можна називати середовищем цієї системи, а в абсолютній більшості середовище – це все те, що взаємодіє з системою, тобто теж певна підсистема Всесвіту.

Між середовищем та системою існують відношення, які узгоджуються через **призначення** системи. Зміна оточуючого середовища призводить до зміни призначення системи. Розуміння призначення не є сталим під час вивчення системи. Воно може змінюватися в процесі конкретизації. Відображенням призначення є мета.

Мета – відображає те, що може чи повинно виникнути, прообраз майбутнього, стан, який бажано досягнути. Вона тією чи іншою мірою присутня у свідомості людини, яка здійснює довільний вид діяльності, і переноситься ним на багато природних та штучних систем. Пізнання мети допомагає зрозуміти сутність систем, що досліджуються, і власне тому інтерес до змісту цього поняття безперервно зростає. Мета може змінюватися залежно від розвитку в часі призначення.

Мета має декілька аспектів. Пізнавальний аспект мети відповідає прогнозу майбутнього, а конструктивний – можливим способам переходу до бажаного майбутнього чи плану дій. У тих випадках, коли мета відносно проста, усвідомлення мети включає і спосіб її досягнення, а у випадку складної мети – план набуває самостійного значення як елемент постановки мети. План встановлює послідовність етапів досягнення мети, визначаються засоби та методи, строки дій.

Виходячи із мети системи її елемент можна розглядати як деякий об'єкт (матеріальний, енергетичний, інформаційний), що має ряд важливих властивостей, але внутрішня будова якого безвідносна до мети дослідження.

Мета конкретизується шляхом декомпозиції за допомогою цілей.

Декомпозиція – це поділ системи на частини з метою зробити зручнішими певні операції з цією системою. Найважливішим стимулом і суттю декомпозиції є спрощення системи, надміру складної для розгляду цілком.

З точки зору мети дослідження системи її елементи не піддаються подальшій декомпозиції при обраному рівні розгляду системи.

Функція системи – це дії, які виконує система система або може виконувати для досягнення мети і реалізації свого призначення.

Функцію елементу зручно розглядати як сукупність його станів у просторі та часі. При взаємодії функцій доволі часто виникає нова властивість (властивості), які не виявляються в кожному окремому елементі системи. Одна й та ж функція може здійснюватися декількома шляхами.

Одним зі способів розкриття внутрішньої суті мети є побудова дерева цілей. Цілі в часовому аспекті поділяються на тактичні цілі, макроцілі, та ідеали.

Тактичні цілі – це бажані результати, досягнення яких відбувається за визначений і порівняно короткий період часу. **Макроцілі** досягаються за довший час і вимагають для цього досягнення хоча б однієї тактичної цілі. **Ідеали** – це такі цілі, які ніколи не досягаються, але до яких система постійно наближається, реалізуючи деякі тактичні та макроцілі.

За наявністю інформації про способи досягнення цілей виділяються наступні класи цілей:

Функціональна ціль – це ціль, спосіб досягнення якої відомий системі, що вже досягала цю ціль. Функціональні цілі повторюються в часі та просторі. Прикладами такого типу цілей є результати виконання виробничих операцій, що періодично повторюються, стандартні функції управління та ін.

Ціль-аналог – це образ, який отриманий в результаті дії іншої системи, але який ні разу не досягався системою, що розглядається, а якщо і досягався, то за інших умов зовнішнього середовища.

Ціль розвитку, або нова ціль – це ціль, яка ніколи і ніким раніше не досягалася. Така ціль по суті пов'язана з утворенням нових систем.

Ці типи цілей пов'язані одна з іншою. Ціль розвитку за умови її успішного досягнення однією з систем перетворюється в ціль-аналог для всіх інших систем, а для даної системи стає функціональною ціллю за умови незмінних зовнішніх умов та ціллю-аналогом за умови змінених зовнішніх умов.

2.3. Поняття та класифікація структур систем. Особливості структурно-топологічного аналізу

Поняття структури є одним з основних в системному аналізі. За ступенем зв'язку та розумінням будови чи сприйняття системи розрізняють форми, сукупності та структури.

Форма – це зовнішній вигляд об'єкта безвідносно до його суті. **Сукупність** – це з'єднання або набір в одну множину безвідносно до форми чи порядку.

Структура – це множина частин або форм (елементів), які знаходяться у взаємодії та специфічному порядку у просторі і в часі елементів і зв'язків системи, необхідному для реалізації функцій. Отже, функція є первинною щодо структури.

Властивістю структури є можливість існування протягом певного часу за допомогою зв'язуючого пристосування для збереження елементів (частин) та їх відношень приблизно в одному й тому ж порядку, реагуючи при цьому на дії середовища.

Структура системи зберігається та збагачується через її функціональні трансформації, в той же час структура полегшує ці перетворення. В організаціях та в більш широкій соціальній структурі наявні зв'язуючі сили, що підтримують форму структури. З точки зору практики представлення структури бажано спростити, щоб ідентифікувати її елементи та взаємні зв'язки між ними. Структура системи може бути охарактеризована за типами зв'язків, які в ній є або які в ній переважають. Найпростішими зв'язками є паралельне, послідовне з'єднання та обернений зв'язок. Обернений зв'язок виконує регулюючу роль у системі.

Можливості структури в достатньо повній мірі розкриваються її топологічними ознаками.

За топологією внутрішніх зв'язків розділяють такі структури:

послідовні (рис. 2.1 а), паралельні (рис. 2.1 б), радіальні (рис. 2.1 в), кільцеподібні (рис. 2.1 г), типу повний граф (рис. 2.1 д), деревоподібні (рис. 2.1 е), незв'язані (рис. 2.1 є).

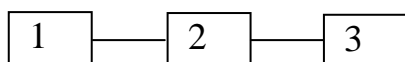


Рис. 2.1 а)

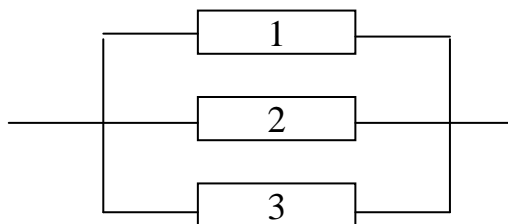


Рис. 2.1 б)

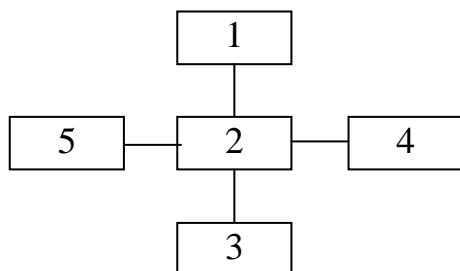


Рис. 2.1 в)

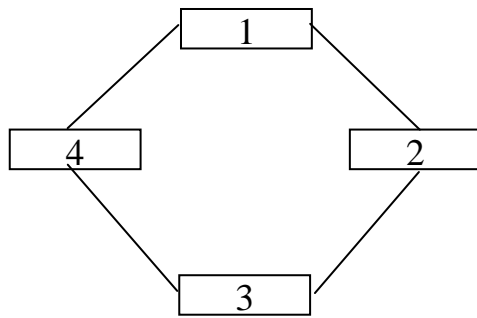


Рис. 2.1 г)

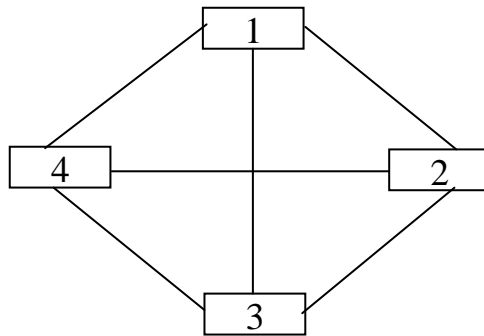


Рис. 2.1 д)

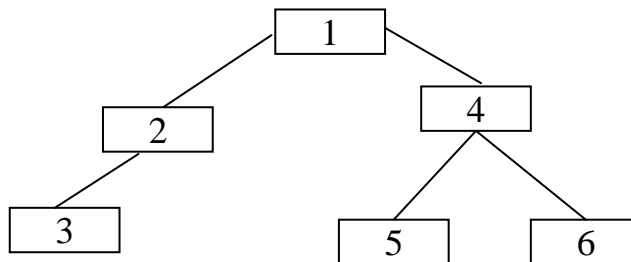


Рис. 2.1 е)

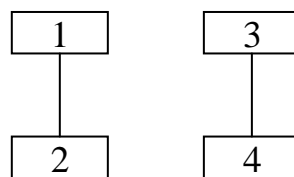


Рис. 2.1 є)

Іншою поширеною класифікаційною ознакою структур є її організація з точки зору управління. Для розгляду структур за управлінням введемо позначення:

○ орган управління;

□ — об'єкт управління.

За управлінням структури класифікують на: централізовані (рис. 2.2 а), децентралізовані (рис. 2.2 б), централізовані-розподілені (рис. 2.2 в), ієрархічні (рис. 2.2 г).

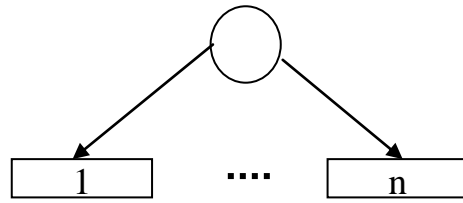


Рис. 2.2 а)

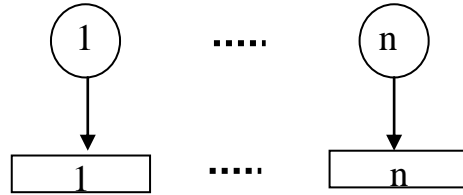


Рис. 2.2 б)

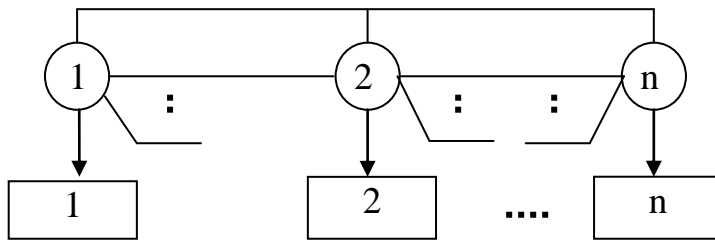


Рис. 2.2 в)

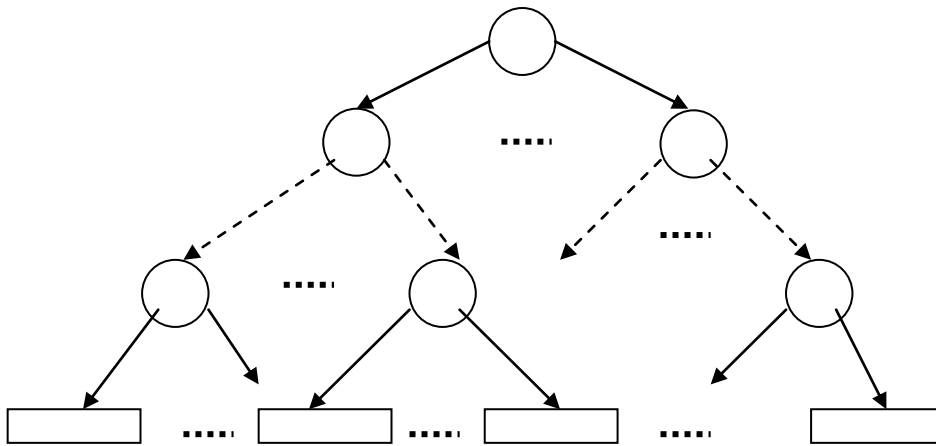


Рис. 2.2 г)

Централізована структура передбачає реалізацію усіх процесів керування об'єктами в одному органі керування, який безпосередньо отримує інформацію про стани об'єктів і передає керуючі сигнали кожному з них. Важливою перевагою такого способу керування є можливість організації глобально-оптимального управління. Недоліком цього методу є необхідність великих об'ємів засобів накопичення, високої продуктивності органів керування.

Децентралізована структура будується за умови незалежності об'єктів керування. Система з такою структурою складається з відносно незалежних між собою підсистем. Недоліком такої структури є неможливість організації глобально-оптимального управління.

Особливістю централізованої розподіленої структури є те, що в ній зберігається основна перевага централізованого керування, а саме – передача керуючих сигналів на основі аналізу інформації про стани всіх об'єктів. Але на відміну від централізованої структури орган керування є розподіленим. Недоліком цієї структури є складність інформаційної взаємодії між елементами розподіленого органу керування, а також складність синхронізації елементів органів управління.

Проблема організації інформаційної взаємодії розподіленого органу управління розв'язується у ієрархічній структурі. Ієрархічна структура, це структура з підпорядкованістю, тобто з нерівноправними зв'язками. Основним недоліком цієї структури є її “консервативність” (будь-яка зміна в структурі вимагає великої кількості зусиль).

Отже, структура є стійкими взаємними зв'язками між елементами системи, які забезпечують її цілісність. Структура є найконсервативнішою характеристикою системи: хоча стан системи змінюється, структура її зберігається незмінною іноді дуже тривалий час. Якщо розглядати поняття «структура» у взаємному зв'язку з поняттям «мета», то під структурою слід розуміти спосіб досягнення мети.

При аналізі структури важливим є її топологічний аналіз. Метою топологічного аналізу є відображення можливостей структури для реалізації функцій, виходячи з наявних елементів та відношень між ними, не вникаючи у їх змістовний опис. У випадку аналізу структури системи використовують 3 етапи опису зв'язків:

- встановлення зв'язків, тобто чи є зв'язок, чи він відсутній;
- встановлення напрямку;
- встановлення характеру зв'язків (потоків).

Основні завдання, які розв'язуються на першому етапі:

- визначення зв'язаності системи;
- виділення ізольованих, тобто зв'язаних в собі підсистем;
- виділення циклів;
- визначення мінімальних та максимальних послідовностей елементів, що розділяють елементи один від одного.

На другому етапі розв'язують такі задачі:

- визначення зв'язаності системи;
- проводять топологічну декомпозицію з метою виділення структур підсистем;
- аналіз та виділення входів та виходів;
- визначення рівнів у структурі шляхом побудови порядкових функцій;
- визначення мінімальних та максимальних шляхів;
- розрахунок структурно-топологічних характеристик.

На останньому етапі визначають місцеві та загальні контури управління, проводять декомпозицію зв'язків, будують оператори з'єднання елементів структури із розщепленими зв'язками.

Для проведення топологічного аналізу необхідно формалізувати структуру.

Найпростіший спосіб формалізації структури це відображення її графічно на основі графів, коли елементам системи відповідають вершини графа, а зв'язкам між елементами – дуги або ребра, залежно від глибини вивчення структури. Основним недоліком графічного представлення є неможливість його використання для топологічного аналізу із застосуванням ЕОМ.

Матричний спосіб – передбачає формалізацію структури за допомогою матриці суміжності A чи інциденцій B :

$$A = \{a_{ij}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n\}, B = \{b_{ij}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m\}$$

де n – кількість елементів у структурі системи; m – кількість зв'язків

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо існує зв'язок між } i, j \text{ вершинами} \\ 0, \text{ у протилежному випадку} \end{cases} \quad \text{– для неорієнтованого графа;}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо з } i \text{ вершини можна перейти в } j \text{ вершину} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases} \quad \text{– для орієнтованого графа.}$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } j \text{ ребро інцидентне } i - \text{ тій вершині} \\ 0, \text{ в інших випадках} \end{cases} \quad \text{– для неорієнтованого графа;}$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i - \text{ та вершина початок } j - \text{ того ребра} \\ -1, \text{ якщо } i - \text{ та вершина кінець } j - \text{ того ребра} \\ 0, \text{ якщо } j - \text{ та дуга неінцидентна } i - \text{ тій вершині} \end{cases} \quad \text{для орієнтовного графа.}$$

При формалізації структури матричним способом отримані матриці A і B включатимуть велику кількість нульових елементів, що є нераціональним з точки зору використання обчислювальних ресурсів, тому замість матричного представлення, часто використовують множини правих $G(i)$ і лівих $G^{-1}(i)$ інциденцій.

Множина правих інциденцій для фіксованої вершини включає всі ті вершини, які можна досягнути з даної вершини. Множина лівих інциденцій включає всі ті вершини, з яких можна досягнути задану вершину.

Важливим моментом при аналізі структури є проведення структурно-топологічної декомпозиції з метою виділення структур підсистем.

Процедура топологічної декомпозиції структури системи полягає у представленні її орієнтованим графом з виділенням окремих сильно зв'язаних підграфів, які задаватимуть структури підсистем.

З метою визначення рівнів ієрархії у структурі, упорядкування по рівнях її елементів будують порядкові функції. Таке упорядкування також необхідне для введення загальних правил нумерації вершин.

В множину нульового рівня N_0 включають всі елементи структури, для яких $G^{-1}(i) = \emptyset$.

В множину першого рівня N_1 включають всі елементи, для яких $G^{-1}(i) \in N_0$.

Множина n -го рівня N_n включає усі елементи для яких: $G^{-1}(i) \in N_0 \cup N_1 \cup \dots \cup N_{n-1}$.

Після розміщення елементів по рівнях проводиться їх наскрізна нумерація в такий спосіб, щоб вершина, яка входить в множину нижнього рівня мала менший номер ніж вершина, яка входить у множину вищого рівня.

Для оцінки кількісних агрегованих характеристик системи на основі аналізу структури, кожному зв'язку чи елементу ставиться у відповідність деяке числове значення $l(a_{ij})$, $l(a_i)$. Побудова числових функцій, які задаватимуть агреговані характеристики на структурі, переважно пов'язана із знаходженням максимального чи мінімального шляху. Числові функції можуть мати адитивний характер $l_s = \sum_{i=1}^n l(a_i)$, чи мультиплікативний $l_n = \prod_{i=1}^n l(a_i)$.

Задача знаходження максимального або мінімального шляху на структурі є задачею динамічного програмування.

Можливості структури розкриваються при відображенні її структурно-топологічних характеристик, серед яких слід відзначити: зв'язаність, надлишковість, рівномірність розподілу зв'язків, компактність.

Зв'язаність структури – це кількісна характеристика, яка дозволяє виявити розриви у структурі, ізольовані елементи. Для її оцінки будують матрицю зв'язаності:

$$C = \{c_{ij}, i = 1..n, j = 1..n\}$$

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } a_{ij}^{\Sigma} \geq 1 \\ 0, \text{ якщо } a_{ij}^{\Sigma} = 0 \end{cases}$$

Елементи a_{ij}^{Σ} належать матриці A^{Σ} , яка розраховується за формулою:

$$A^{\Sigma} = \sum_{k=1}^n A^k, \text{ де } A^k = A \cdot A_{k-1}$$

Якщо структура представляється неорієнтованим графом, то структурна зв'язаність відповідає умові: $\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \geq n-1, i \neq j$

Надлишковість структури – це показник, який показує відношення загальної кількості зв'язків до мінімально необхідної для забезпечення повної зв'язаності. У випадку представлення структури неорієнтованим графом, і відображенням його матрицею суміжності, цей показник матиме вигляд

$$R = \left(\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right) / (n-1) - 1$$

Рівномірність розподілу зв'язків ε^2 характеризує повноту використання можливостей структури з m зв'язків та n вершин, при досягненні максимальної зв'язаності. Для його розрахунку на основі представлення неорієнтованим графом вводять поняття ступені вершини ρ_i – кількості зв'язків які інцидентні (входять чи виходять з вершини). Тоді розраховують середню ступінь вершини $\bar{\rho} = \frac{2m}{n}$ та середньо квадратичне відхилення

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2$$

Компактність структури визначається наближеністю елементів між собою, що у подальшому аналізі дозволить прогнозувати інерційність системи з заданою структурою. Наближеність елементів один до одного будемо визначати мінімальною відстанню між ними d_{ij} , якщо числові функції неможливо встановити на цьому етапі аналізу структури, то відстань між елементами визначаю кількістю проміжних зв'язків між ними, а агрегований показник компактності структури визначають за одною із таких формул:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \text{ – абсолютний показник;}$$

$$Q_{vid} = \frac{Q}{Q_{min}} \text{ – відносний показник,}$$

$$\text{де } Q_{min} = n(n-1);$$

$$d = \max_{ij} \cdot d_{ij} \text{ – діаметр структури.}$$

При топологічному аналізі слід також відобразити ранги елементів, з метою виділення ієрархічності.

Основне правило при визначенні рангу в топологічному аналізі таке: елемент має тим вищий ранг, чим з більшою кількістю елементів він є пов'язаний. Щоб визначити ранг, треба взяти відношення кількості зв'язків від даного елемента, до загальної, або деякої фіксованої кількості зв'язків у структурі.

На третьому етапові аналізу структури, коли проводиться декомпозиція зв'язків між елементами і будують оператори з'єднання елементів структури із розщепленими зв'язками. На цьому етапі кожен елемент представляється у вигляді “чорної скриньки” із відповідними вхідними та вихідними зв'язками (потоками).

Для i -того елемента проводиться декомпозиція вхідного потоку $X_i(t)$, що поступає від деякого елемента на елементарні потоки $X_i(t) = (x_{i1}(t), \dots, x_{im}(t))^T$, які приєднуються до елементарних контактів елемента. Аналогічним чином проводиться декомпозиція вихідних потоків даного елемента $Y_i(t) = (y_{i1}(t), \dots, y_{ip}(t))^T$. З'єднання розщеплених зв'язків проводиться за правилом: до вхідного контакту елемента підключають не більше одного потоку, а до вихідного – будь-яка кількість. В результаті для кожного i – того чи j – того елемента отримуємо множину вхідних $X_i = \{X_i^l, l = 1, \dots, m_i\}$, $i = 1, \dots, n$ та множину вихідних $Y_j = \{Y_j^k, k = 1, \dots, p_j\}$, $j = 1, \dots, n$, контактів.

Оператор з'єднання елементів структури із розщепленими зв'язками $Y = R(X)$ можна задати у вигляді таблиці. Номер стрічки таблиці є номером елементу, а номер стовпця є номером його вхідного контакту елементу. На перетині i -тої стрічки та l - того стовпця встановлюється пара чисел (j,k) , якщо в l - тий контакт i -того елемента поступає елементарний потік з вихідного k - того контакту j - того елемента. Слід відмітити, що середовище, яке є зовнішнім елементом для системи має номер "0"

Зміна структури системи пов'язана із зміною основних функцій і достатньо часто її призначення. Структурні зміни завжди підпорядковані функціональним і можуть проводитися шляхом переміщення елементів з одного місця на інше, або їх вилучення, зміни напрямків та характеру зв'язків.

2.4. Види потоків в системах. Діаграми потоків даних

Зв'язок (потік) – це важливий з точки зору розгляду системи обмін речовиною, енергією, інформацією між елементами та зовнішнім середовищем і елементами системи.

Функції системи реалізуються через потоки енергії, людей, матеріальні та інформаційні. Структуру можна розглядати також як множину обмежень на потоки в просторі та часі. Структура ініціює потоки, спрямовуючи їх вздовж певних шляхів (каналів), перетворює їх з певною затримкою в часі (час перетворення), в певних випадках припускає регулювання та обернений зв'язок. Структура може змінюватися в часі самостійно, а також під впливом потоків, впливає на потоки і є системою в межах системи. Потоки, які є необхідними для збереження первісної структури, називаються підтримуючими, а ті, що є результатами дії системи та її структури – потоками продукції.

Найважливішими потоками у складних системах є інформаційні, оскільки вони супроводжують усі інші потоки і окрім цього достатньо часто є домінуючими. Процесами збирання перетворення, зберігання та представлення інформаційних потоків із використанням комп'ютерної техніки займається інформатика, яка для кількісного оцінювання розмірів інформації розглядає її у вигляді деякого коду (двійкового). Однак з точки зору користувача такий підхід не завжди є прийнятним, наприклад частіше користувач визначає об'єм потоків інформації за кількістю повідомлень, знаків, файлів, розкриває їх внутрішню структуру і оцінює кількість елементів (атрибутів).

Відображення структури системи, у якій зв'язками є інформаційні потоки, можна здійснити за допомогою діаграм потоків даних DFD (data flow diagrams). Ці діаграми використовують для аналізу та моделювання інформаційних систем з метою мінімізації потоків даних та зменшення їх об'єму, виявлення як дублювання інформації, так і дублювання шляхів її передавання. DFD відображають джерела та споживачів інформації, вид та напрямок передачі інформації, елементи накопичення та процеси перетворення, при цьому використовуються різні засоби відображення елементів (нотації).

Аналіз систем на основі DFD Метод був запропонований De Marco (1978), а також доповнений Gane та Sarson (1979р) в структурній системній методології. В нотаціях запропонованих De Marco використовується чотири типи елементів:

- процеси перетворення інформації (рис 2.3 а);
- елементи накопичення даних (рис.2.3 б);
- потоки даних (рис. 2.3 в);
- елементи зовнішнього середовища – джерела та споживачі інформації (рис. 2.3 г).

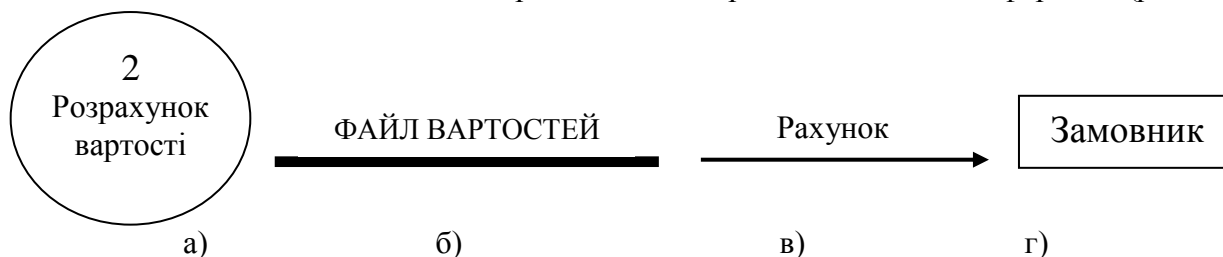


Рис 2.3

Процеси відображають функції системи, тобто, "що система і/або як виконує". Кожен процес має один або декілька входів та виходів. Процес має назву та номер. Основними властивостями процесів є: простота назв та "консервування" даних.

Назви процесів повинні вказувати на дії, відповідати назвам функцій, які виконує система, та по можливості бути короткими – одним словом чи словосполученням. Не слід вживати назви процесів без змісту, тобто, які не розкривають функцій системи, наприклад, “Виконання стандартних операцій”, “Опрацювання даних” і т.п. Якщо у процесі об’єднано декілька функцій одного рівня ієрархії, то назви цих функцій повинні відображатися в назві процесу, наприклад, “Реєстрація замовлення та аналіз можливості його виконання”.

“Консервування” даних стосовно процесу означає, що процеси не вводять нових елементів в структуру інформації, тобто: у вихідних потоках з процесу не може бути інформації, якої не було у вхідних потоках.

При побудові діаграм слід розрізняти фізичні та логічні процеси. Фізичні процеси окрім розкриття дії, тобто “що система виконує”, вказують на засоби, тобто “як, яким чином” вона виконує функції. Наприклад, логічному процесу “перевірка замовлення” може відповідати такий фізичний процес: “введення замовлення оператором”.

Елементи накопичення даних відображають факт накопичення даних однотипної структури і їх запису на фізичні носії: паперові (довідники, реєстраційні журнали) бази даних, тощо. Фактично вони є часовими розрізами потоків даних. Елементи накопичення обов’язково повинні бути зв’язані з процесами за допомогою потоків даних (інформація не може записуватися чи зчитуватися самостійно без процесу). Назви елементів накопичення повинні бути простими і відповідати однорідному об’єкту. Наприклад, неправильно є назва елемента накопичення: “Заяви та розклад роботи устаткування”, оскільки інформація про об’єкт “Заяви” абсолютно відрізняється від інформації про об’єкт “Устаткування”. Властивість “консервування” даних стосовно елемента накопичення означає, що у вихідних потоках з елемента накопичення може бути тільки та інформація, яка була у вхідних потоках в цей елемент. Зазвичай вхідні та вихідні потоки для елементів накопичення мають бути ідентичними.

Зовнішні елементи є поза системою і відображають джерела та споживачів інформації. Якщо моделюють одну частину системи (підсистему), то інша може бути зовнішнім елементом.

Потоки даних відображають зв’язки між компонентами системи. мають напрямок і назву даних, що передаються. Назви потоків повинні бути простими, одним словом і відображати назви документів або назви його частин, показників, файлів. Якщо один і той самий потік проходить опрацювання у декількох процесах, то в його назві повинна відображатися назва виконаної дії. Наприклад, потік “Замовлення” після процесу “Підтвердження замовлення” матиме назву “Підтвержене замовлення”. Потоки можуть бути:

- між двома процесами;
- між процесом і елементом накопичення;
- між зовнішнім елементом і процесом.

При побудові діаграм потоків даних слід мати на увазі, що простота та ясність їх побудови повинна бути настільки високою, що не вимагатиме ніяких додаткових змістовних пояснень.

Особливістю DFD є принципова їх відмінність від блок-схем опису алгоритмів розв’язування задач. Основними відмінностями DFD по відношенню до блок-схем є:

- відсутність потоків, що розщеплюються без участі процесів;
- відсутність на діаграмі ліній потоків, що перетинаються;
- відсутність елементів розв’язування (порівняння із визначенням напрямків передачі інформації), контролюючих елементів (процесів), та потоків, які запускають на виконання процеси;
- відсутність на діаграмі циклів та детального опису процесів.

За основу процедур побудови DFD покладено *метод рівнів*, а також *фізичне та логічне моделювання*.

Діаграми рівнів потоків даних відображають дерево функцій і мають такі властивості та правила побудови.

1) Метод рівнів реалізується з функцій верхнього рівня з поступовою їх деталізацією і напрямлений на побудову структури системи у вигляді ієрархії процесів та потоків даних.

2) Кожен рівень включає деяке число процесів (емпірично 2-7), які в свою чергу деталізуються на нижніх рівнях. Першою при побудові діаграм рівнів є контекст-діаграма, яка є одним процесом без номера і повинна включати усі зовнішні елементи та вхідні і вихідні потоки

системи зі сторони зовнішнього середовища. Наступною є діаграма верхнього рівня, на якій також відображені усі зовнішні елементи, а процеси мають прості номери 1, 2, 3 ... (див. рис. 2.4) Наступними є діаграми 1-го (див. рис. 2.5), 2-го, ..., і-го рівнів.

3) Кожен рівень деталізує деякий процес вищого рівня. При цьому зберігається баланс потоків даних, тобто всі потоки, які входять або виходять з процесу вищого рівня, повинні входити або виходити з рівня його деталізації, відповідно.

4) Номер процесу на діаграмі рівнів є складним (за виключенням контекст-діаграми та діаграми верхнього рівня) і включає номер процесу, для якого будується рівень та номер процесу в межах рівня. Наприклад, номер процесу 2 в межах рівня, який деталізує процес діаграми верхнього рівня номер 3, на діаграмі буде мати номер: 3.2.

5) Рівні також можуть включати локальні елементи накопичення даних тобто ті яких не було на верхніх рівнях.

6) На діаграмах рівнів можуть деталізуватись потоки даних.

7) Кількість рівнів, тобто ступінь деталізації процесів визначається можливістю побудови формалізованого опису процесів на нижніх рівнях.

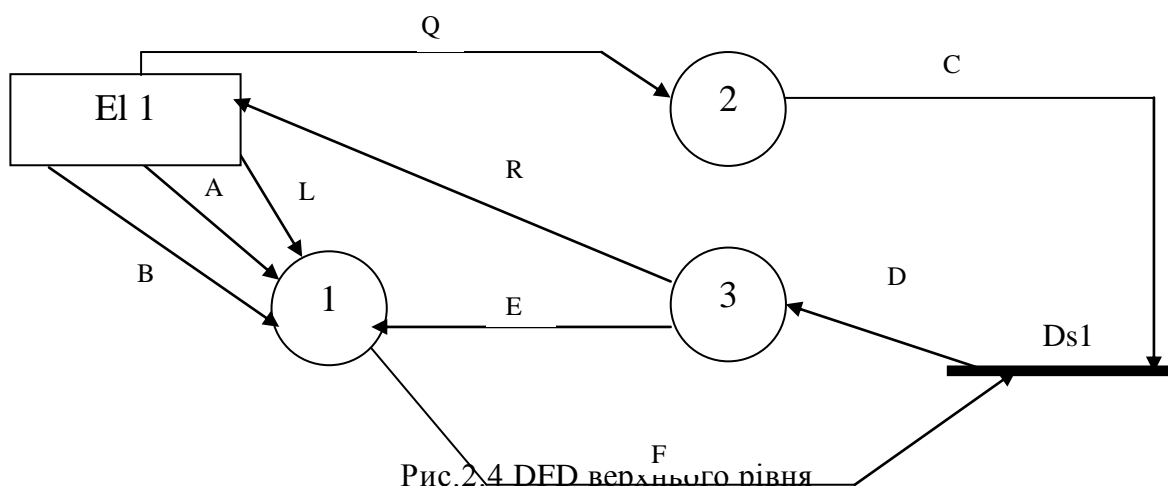


Рис.2.4 DFD верхнього рівня

Як правило, на початкових стадіях DFD включає і логічні, і фізичні процеси, оскільки для її побудови використовується реально існуюча система чи технологія, тобто реалізована фізично. Тому актуальною є процедура трансформації однієї DFD в іншу (логічної в фізичну, або з фізичної в логічну). Для трансформації фізичної DFD в логічну необхідно:

- вилучити усі процеси, які відносяться виключно до фізичних;
- розширити фізичні функції та потоки до логічних шляхом переходу з DFD верхніх рівнів на більш деталізовані;
- провести аналіз процесів на нижніх рівнях розширеної фізичної DFD з метою їх перекомбінування: – вилучення фізичних процесів та об'єднання логічних для переходу на вищий рівень вже логічної DFD.

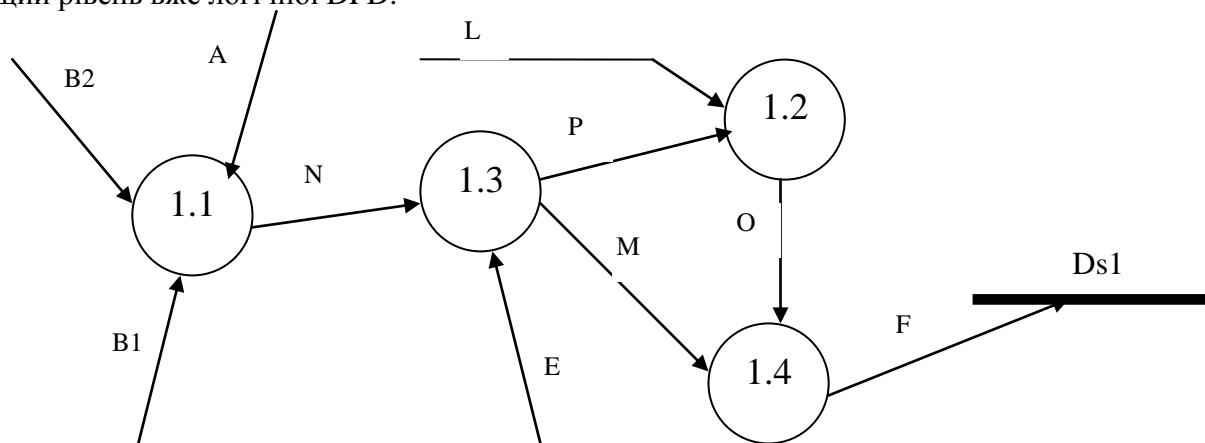


Рис.2.5. DFD 1-го рівня для процесу 1.

Після побудови DFD для повнішого відображення структури слід перейти до її детального опису. Детальний опис включає: відображення структури потоків даних та елементів накопичення, опис процесів.

Важливим питанням, яке розглядається при структурному аналізі є визначення потужності зв'язків. Потужність речовинних і енергетичних зв'язків оцінюється порівняно просто за інтенсивністю потоку речовини або енергії. Для інформаційних зв'язків оцінкою потенційної потужності може служити її пропускна спроможність, а реальної потужності – дійсна величина потоку інформації. Проте в загальному випадку при оцінці потужності інформаційних зв'язків необхідно враховувати якісні характеристики переданої інформації (цінність, корисність, вірність і т. п.).

Контрольні запитання.

- 1 Принципи системного підходу.
- 2 Поняття системи, елементу, навколишнього середовища, мети, декомпозиції, елементу, функції, стану, процесу.
- 3 Поняття та класифікація структур систем. Особливості структурно-топологічного аналізу
- 4 Види потоків в системах. Діаграми потоків даних

ТЕМА 3. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМ

- 3.1 Загальні підходи до класифікації систем.
- 3.2 Класифікація КІС за принципом функціонування.
- 3.3 Поняття складності та масштабності систем.
- 3.4 Властивості складних систем.
- 3.5 Класифікація систем за способом керування.

3.1. Загальні підходи до класифікації систем

В основу будь-якої класифікації мають бути покладені характерні ознаки об'єктів класифікації. Наявність чи відсутність відповідної ознаки в об'єкті дозволяє віднести його до певного класу. Класифікація – це перший крок при дослідженні системи.

Найчастіше системи класифікуються за такими ознаками:

- призначення,
- ступінь взаємодії із зовнішнім середовищем,
- походження,
- спосіб організації,
- тип та характер взаємодії між елементами,
- спосіб керування,
- принципи функціонування.

За призначенням системи поділяються на *пасивні* та *цілеспрямовані* (активні).

Пасивні – це пристрої, що використовуються для виконання вимог, усвідомлених їх творцями (автомобілі, літаки).

Цілеспрямовані – сприймають потреби, щоб сприйняти і формувати дії з множини альтернативних для задоволення власних потреб. Їх цілі можуть змінюватися в часі, адаптуватися до середовища та змінювати його.

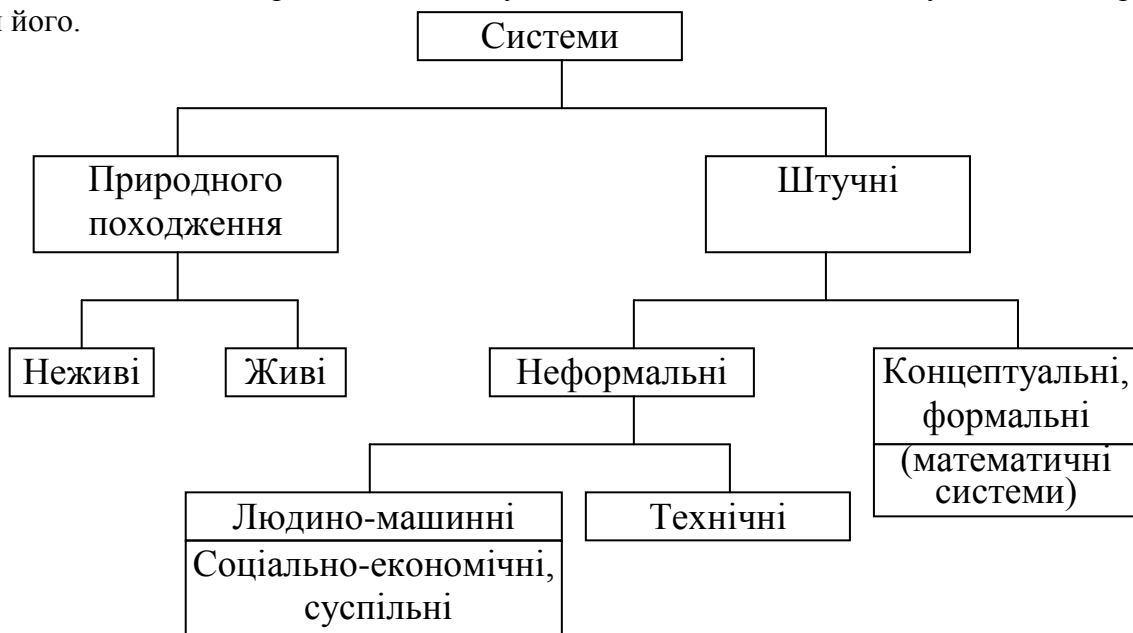


Рис.3.1. Класифікація систем

За ступеню взаємодії із зовнішнім середовищем системи класифікуються на *відкриті* або *замкнені* (*автономні*).

Відкрита система, яка досягає рівноваги стає замкненою.

Цілеспрямовані системи є відкритими.

Відкриті системи можуть зберігати високий рівень організованості і розвиватися у бік збільшення складності.

Чисто замкнутих систем не існує. Вони розглядаються замкнутими виключно з точки зору якоїсь частини середовища.

За походженням системи класифікуються *створені природою та людиною*.

Створені природою класифікуються на *живі та неживі*. З точки зору походження зручно скористатися такою класифікацією (рис).

За елементами системи поділяються на *абстрактні* (символи, знаки, букви, цифри) та *фізичні* (предмети, явища, процеси).

За способом організації: *структуровані і слабо структуровані*.

За типом та характером взаємодії між елементами системи класифікуються на *прості та складні*.

За способом керування на: *керовані ззовні, самокеровані та з комбінованим керуванням*.

3.2. Класифікація КІС за принципом функціонування.

Одними із найбільш поширених класів систем є комп'ютеризовані (автоматизовані) системи управління. Їх особливість полягає в тому, що елементами такої системи є люди (персонал). Найчастіше за класифікаційну ознаку для таких систем вибирають принцип функціонування.

За принципом функціонування такі системи поділяються на *транзакційні (протоколюючі), системи підтримки прийняття рішень та геоінформаційні системи*.

Системи *транзакційного* типу виконують прості операції перетворення зв'язків між елементами вхідної інформації з метою формування вихідної. Вони фіксують одиничні моменти функціонування системи. При цьому елементи вхідної та вихідної інформації співпадають.

Системи підтримки прийняття рішень призначені для розв'язування більш складніших задач пов'язаних із перетворенням структури вхідної інформації на основі певних правил (знань) у вихідну інформацію, яка відрізняється від вхідної не тільки зміненими зв'язками, але і самими елементами. Як правило такі системи мають елементи штучного інтелекту, відрізняються наявністю великої кількості взаємопов'язаних алгоритмів функціонування. Окремі з них мають властивості самоорганізації та розвитку алгоритмів функціонування.

Геоінформаційні системи – це системи у яких управління процесами опрацювання інформації здійснюється за допомогою графічного інтерфейсу, виконаного на основі географічних, топографічних карт, планів. Такі системи можуть включати як елементи чисто систем транзакційного типу (транзакція посилається вибором відповідного об'єкта на карті) так і елементи систем підтримки прийняття рішень.

3.3. Поняття складності та масштабності систем.

Одною із основних класифікаційних ознак є складність системи, яка визначається типом та характером взаємодії між елементами системи.

Складність не може бути висловлена за допомогою одного показника і її визначення залежить від галузі наук та застосування системи. Складність зазвичай необхідно виразити кількісно, хоча вона означає дещо якісне. Необхідно розрізняти *статичну та динамічну* складність. Статична складність - це внутрішня складність системи, а динамічна – це складність керування системою.

Важкість і складність є різні поняття. Складна проблема є слабо структурованою і має велику кількість розв'язань, які своєю чергою мають багато призначень. Для складних систем властивими є різні системні моделі, які описують її різні сторони та різну глибину проникнення.

Для вимірювання складності кількісно використовують різні концепції:

- алгоритмічна, яка визначає складність довжиною алгоритму відтворення системи;
- обчислювальна – пов'язує алгоритмічну складність та обчислювальні ресурси;
- інформаційна – розуміє складність з точки зору ентропії системи;
- статистична – характеризує складність через міру затрат на розпізнаваність розподілів ймовірностей;
- теоретико-множинна, інтервальні концепція складності – характеризує складність через міру затрат на забезпечення розпізнаваності множин значень
- логічна – побудована на аналізі предикатів, які характеризують систему;
- множинна – визначає складність як кількість елементів системи

Алгоритмічна складність базується на понятті функції, що може бути обчислена за допомогою алгоритму при його реалізації машиною Тьюринга. Алгоритмічна складність задає складність описання алгоритму розв'язання задачі. Такий підхід дозволяє порівнювати складність тільки в межах визначеного класу задач.

Алгоритмічна складність доповнюється *обчислювальною*, яка характеризує витрати різних обчислювальних ресурсів на розв'язування заданого класу задач. Міру обчислювальної складності характеризують також: надійність обчислень; можливість розпаралелювання обчислювального процесу; частоту звертань до складових комп'ютера та розподіл даних та проміжних результатів між постійною і оперативною пам'яттю.

Інформаційна концепція розглядає складність розв'язання оптимізаційних задач. Поняття "найкраще рішення" є не математичною проблемою, а проблемою СА. Достатньо часто для оцінки складності оптимізаційних задач розглядають її розмірність та необхідну точність отриманого результату, тобто обсягом інформації для отримання розв'язку. Однак тут також потрібно враховувати реальні витрати обчислювальних ресурсів та складність алгоритму реалізації обраного методу оптимізації.

Статистична концепція складності побудована на тому, що поведінка складних систем є не передбачуваною, але агреговані характеристики таких систем є статистично стійкими. Встановлення цих характеристик, перевірки апріорних гіпотез на яких вони базуються вимагає відповідних обсягів спостережень, вартісна оцінка збирання якої є характеристикою складності.

Теоретико-множинна, інтервальна концепція складності також стосується поведінки систем в умовах невизначеності, коли агреговані характеристики систем можливо отримати в множинному (інтервальному) вигляді. Для забезпечення мінімальних розмірів множин значень чи функціональних коридорів характеристик необхідно отримати певні обсяги вихідної інформації з гарантованою точністю. Витрати на ці процеси характеризують складність об'єкта.

Отже за масштабністю і складністю системи розділяємо на *великі і малі* та на *складні і прості*.

Великі системи – це системи, які обов'язково розглядаються як сукупність підсистем. При цьому, для їх дослідження використовуємо два шляхи композицію та декомпозицію. Композиція – це дослідження від елементів, підсистем до системи. Декомпозиція – коли нова інформація отримується зі знання системи загалом.

Складні системи – це цілеспрямовані для розв'язування багатоцільових задач і для їх опису використовують взаємопов'язаний комплекс моделей.

3.4. Властивості складних систем.

1. *Загальність та абстрактність*, коли як система розглядаються предмети, явища природи, різні процеси.
2. *Множинність* – одна і та ж сукупність елементів може бути множиною різних систем. Кожна сукупність відрізняється системотворчими властивостями та конкретними відношеннями елементів у сукупності.
3. *Цілісність* – система поводить себе як єдине ціле.
4. *Емерджентність* – наявність властивостей у системі, які не можуть бути отримані із властивостей елементів. Для отримання властивостей системи необхідно аналізувати відношення між її елементами. Цілісність обумовлена властивістю емерджентності.
5. *Еквіпотенційність* – система є підсистемою вищого рівня і в той же час вона є системою зі своїми елементами і зв'язками.
6. *Синергізм* – ефективність функціонування системи є вища ніж сумарна ефективність ізольованого функціонування її елементів.

Не всі складні системи є відкритими. Відкриті можуть мати такі особливості, наприклад як *адитивність* – протилежність синергізму. Кожна змінна розглядається незалежно від інших і відхилення характеристики системи є сумою відхилень окремих елементів.

Для складних систем є характерними обмеження на реалізацію свого призначення. Тоді проблема досягнення бажаного стану, найкращого розв'язку перетворюється до проблеми знаходження прийняттого стану. Ці обмеження поділяються на *зовнішні та внутрішні*.

Внутрішні:

Сприйняття потреб, цілей та засобів досягнення людиною.

Унікальні проблеми у яких потреби слабко структуровані і не існує відомого впорядкованого набору процедур, щоб їх задовольнити.

Конфлікт. Усвідомлені потреби (вимоги) можуть бути протилежними для осіб, що розв'язують проблему. Компроміс часто не забезпечує початкове призначення системи.

Інерція. Важливі рішення приписуються неконтрольованим силам, а не окремим особам.

Зовнішні:

Динаміка, яка призводить до невизначеності зовнішнього середовища та необхідності прогнозування його поведінки.

Турбулентність, яка може виникнути при динаміці складних відношень між елементами і знизити їх адаптивність.

Запізнення, які виникають при оцінці відповідності системи її призначенню та реагуванні системи на дію.

Технічні фінансові обмеження та обмеження людських ресурсів, які визначаються сучасними чи наявними можливостями технічних засобів, фінансових та людських ресурсів.

3.5.Класифікація систем за способом керування.

Цілеспрямоване втручання в перебіг процесів називають *керуванням*.

Керування забезпечує стійкість системи у її взаємодії з зовнішнім середовищем та взаємодії елементів.

Класифікація систем за способом керуванням наведена на рис. 3.2.

Для систем у яких є зовнішнє керування, процеси керування реалізуються зовні системою керування. Спосіб *регулювання* полягає в оцінюванні існуючого стану, порівнянні з бажаним і виробленні додаткового керування, яке повертає систему до бажаного стану.

Параметрична адаптація полягає у підлаштуванні параметрів системи з метою досягнення бажаного стану системою.

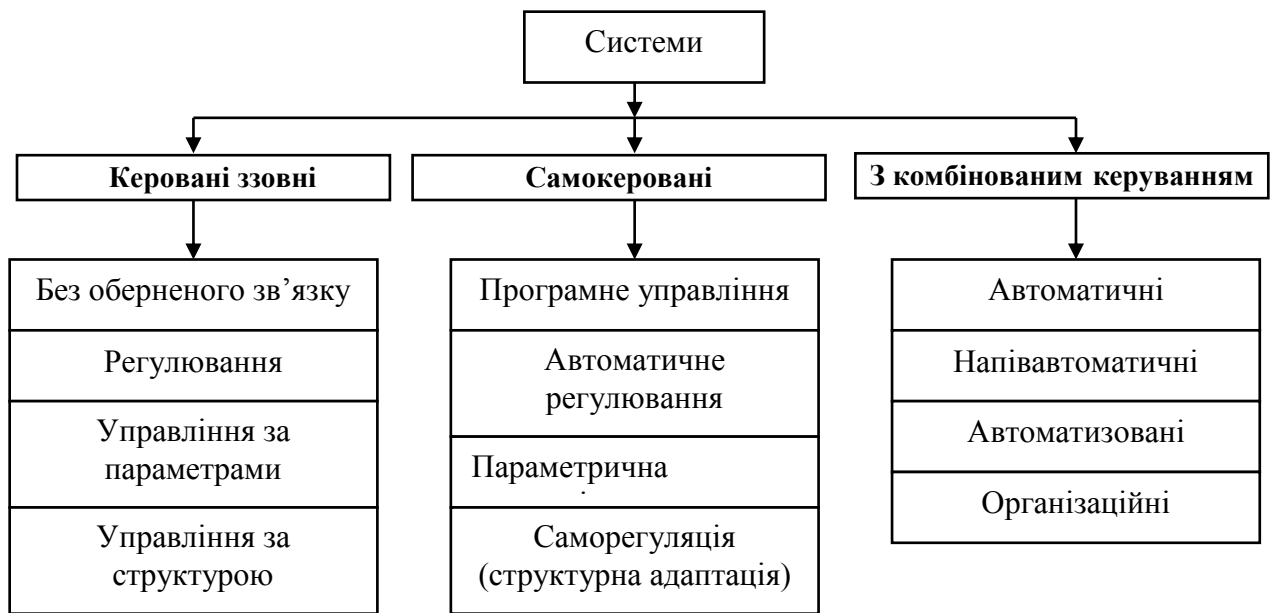


Рис. 3.2

Якщо при адаптації параметрів системи бажаний стан не досягається, то необхідно здійснювати процедури *структурної адаптації*. Системи з *самоорганізацією* здатні змінювати свою структуру та оточуюче середовище.

Контрольні запитання.

- 1 Загальні підходи до класифікації систем.
- 2 Класифікація КІС за принципом функціонування.
- 3 Поняття складності та масштабності систем.
- 4 Властивості складних систем.
- 5 Класифікація систем за способом керування.

ТЕМА 4. МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ.

4.1 Моделювання як спосіб наукового пізнання та його призначення в СА. Поняття адекватності моделі.

4.2 Класифікація моделей.

4.3 КORTEЖНИЙ ЗАПИС МОДЕЛІ.

4.1. Моделювання як спосіб наукового пізнання та його призначення в СА. Поняття адекватності моделі.

Моделювання є одним із способів пізнання. Моделювання слугує для розв'язування тих завдань, які не можуть бути розв'язані безпосередньо на об'єкті, наприклад коли він не існує. *Метод моделювання* полягає в заміні деякого об'єкта іншим об'єктом, який володіє подібними властивостями, але дослідження якого економічно вигідніше. Тобто методи моделювання є одним із способів опосередкованого пізнання. Моделювання це завжди є співставлення відомого з невідомим по *аналогії*.

Аналогія це твердження про схожість в різних об'єктах. Грунтуючись на аналогії в дослідженнях висуваються *гіпотези-передбачення*, які перевіряються шляхом експерименту.

Модель є провідною ланкою між дослідником та об'єктом, виконує функції замітника об'єкта та дозволяє отримати нові знання про цей об'єкт.

При моделюванні можливі різні рівні аналогій. Найвищий рівень аналогії - коли модель тотожна самому об'єкту. Однак в цьому випадку втрачається зміст моделювання. З іншого боку надмірне спрощення моделі призводить до невідповідності із досліджуваним об'єктом.

Основними функціями моделей систем є *пізнавальні* та *прагматичні*. Вони можуть використовуватися як засоби:

- осмислення дійсності;
- формального опису причинно-наслідкових зв'язків та структури системи;
- навчання, імітації та прогнозування поведінки системи;
- імітаційного експерименту;
- використання в задачах управління та оптимізації.

Системний аналіз використовує апарат моделювання для розв'язування задач дослідження об'єкта, проектування нової системи та організації управління. При цьому властивості системи переважно відображаються комплексом моделей.

Інший системний аспект моделювання полягає в тому, що діяльність дослідника є цілеспрямованою на досягнення певної мети, бажаного стану, який розглядається як деяка модель. Процес формування плану чи алгоритму діяльності базується на моделюванні з метою прогнозування наслідків діяльності. В цьому сенсі *моделювання виступає як обов'язкова дія в цілеспрямованій діяльності*.

Модель також виступає як *цільове відображення* властивостей об'єкта, тобто відображаються ті властивості, які відповідають основній цілі.

Прагматичний аспект моделювання полягає в тому, що його результатом є не тільки відображення властивостей, але і формування вимог до того що потрібно досягнути, тобто до бажаного стану системи. Наприклад моделі можуть використовуватись як засіб знаходження оптимальних рішень, оптимального управління, оптимальної організації, тощо.

Основними властивостями моделі є її *скінченність (повнота)*, *складність (спрощеність)* та *точність (наближеність)* по відношенню до реальної системи.

У моделі відображається *скінчена* кількість відношень елементів системи. Хоча об'єкти моделювання можуть бути також скінченими. Наприклад, коли будується модель якоїсь моделі (на основі комп'ютерної моделі будується її відображення в аналітичному виразі).

Спрощеність моделі обґрунтовується необхідністю оперування нею, наприклад, із застосуванням обчислювальної техніки, ресурси якої є обмеженими. Принцип леза Оккама гласить, що з *двох адекватних моделей ближчою до дійсності природи явища є та, що простіша. Простота – це печать істини* (древні схоласти).

Оцінка *складності* моделі досліджується при визначенні структури моделі (*структурної ідентифікації*). Кількісні оцінки складності можуть бути отримані тільки для фіксованого класу

моделей. Наприклад, вони можуть визначатися кількістю елементів, згідно алгоритмічної чи обчислювальної концепції. Тобто згідно концепції визначення складності систем.

Наближеність (точність) моделей має більш кількісне вираження ніж *скінченність* та *складність*. Для перевірки наближеності достатньо порівняти властивості отримані згідно моделі із властивостями оригіналу.

Адекватність є основною характеристикою побудованої моделі. Модель адекватна об'єкту якщо результати моделювання слугують для прогнозування поведінки реального об'єкта.

Поняття *адекватності* слугує для оцінки рівня виконання вимог *повноти та точності*, необхідного для досягнення мети моделювання. *Ступінь адекватності моделі* перевіряється експериментальним шляхом на основі введення міри адекватності.

В цілому існує розумний компроміс між складністю моделі та адекватністю відображення нею властивостей об'єкта. Як правило при цьому модель описує деякі сторони функціонування та деякі необхідні для відображення властивості системи.

Процес моделювання пов'язаний із виконанням певних етапів дослідником результатом кожного з яких є певні системи знань або їх знакове (формальне) відображення.

На першому етапі отримується відображення об'єкта у свідомості дослідника у вигляді системи знань. Це відображення є *гомоморфним*. *Гомоморфне* відображення означає, що кожному елементу та зв'язку об'єкта, що моделюється, відповідає один елемент та зв'язок системи знань про об'єкт у свідомості дослідника, а протилежне відображення не існує.

На другому етапі отримується система уявлень про модель об'єкта, яка також є гомоморфним відображенням системи знань про об'єкт.

На третьому етапі система уявлень про модель об'єкта ізоморфно відображається у модель об'єкта чи явища, що моделюється. *Ізоморфізм* вказаного відображення полягає у тому, що кожному елементу та зв'язку системи уявлень про модель об'єкта відповідає один і тільки один елемент моделі об'єкта і існує протилежне відображення.

В цілому між системою (об'єктом, що моделюється) і її моделлю існує гомоморфне відображення, що підтверджує множинність моделей будь-якої системи, а процес моделювання є ітераційним.

4.2. Класифікація моделей.

Основними класифікаційними ознаками моделей є:

- акценти дослідження системи;
- властивості областей зміни параметрів та змінних;
- спосіб опису невизначеності;
- урахування інерційності;
- спосіб задання відношень між параметрами та змінними;
- призначення
- форма представлення властивостей системи.

Якщо акценти при дослідженні системи зміщуються в напрямку пізнання внутрішньої побудови системи, то розглядають *моделі структури*. У випадку, коли найважливішим є встановлення властивостей системи які проявляються при взаємодії її із зовнішнім середовищем, то розглядають моделі *чорної скриньки* ("вхід-вихід").

Моделі "вхід-вихід" відображають основні властивості системи, ізолюваність і зв'язок із зовнішнім середовищем, а також неможливість повної ідентифікації всіх властивостей.

Модель структури відображає сукупність елементів і зв'язків між ними як відносно незмінну.

Залежно від властивості областей зміни параметрів та змінних моделі поділяють на *неперервні* (аналогові), *дискретні* та *дискретно-неперервні*.

У *неперервних* моделях елементи моделі є неперервними. У *дискретних* – параметри та змінні приймають значення з дискретних множин.

Залежно від опису невизначеності моделі поділяють на: *детерміновані, стохастичні, теоретико-множинні*.

Детерміновані моделі – не містять невизначеності і є певним ідеалом. Навіть у випадку відсутності стохастичних чи непередбачених процесів у кожній моделі існує певна міра невизначеності, пов'язана із такими її властивостями як скінченність та наближеність.

У *стохастичних моделях* змінні та параметри представляються випадковими величинами. Характеристиками цих випадкових величин є закони розподілу чи їх параметри, або статистичні оцінки цих законів і параметрів.

Теоретико-множинні моделі містять параметри та змінні, представлені у вигляді множин гарантованих чи допустимих значень, або у вигляді нечітких множин із відомими функціями належності. Одним із підкласів таких моделей є інтервальні моделі які описують властивості системи інтервалами можливих значень, або функціональними коридорами.

Залежно від ступеня урахування фактору часу моделі поділяються на *статичні (без інерційні) та динамічні*.

У *статичних моделях* припускається відсутність перехідного процесу. Тобто, що система миттєво реагує на будь-яке збурення. Статичні моделі описуються алгебраїчними рівняннями. Статичні моделі можуть також відображати динаміку, але в фіксований момент часу. Послідовність статичних моделей може повністю описати зміну станів системи у часі. У цьому випадку використовують рекурентні співвідношення у вигляді різницевих рівнянь.

Динамічні моделі враховують фактор інерції системи при поведінці системи. Такі моделі описуються інтегро-диференціальними рівняннями із змінною часу.

За способом задання відношень між параметрами та змінними моделі поділяються на *лінійні та нелінійні*. *Лінійні моделі* як правило описують прості системи, що не володіють властивістю *синергізму*, або за значного спрощення при відображенні властивостей системи.

За призначенням моделі поділяють на *дескриптивні та нормативні*. *Дескриптивні* – це описові моделі. *Нормативні моделі* – включають критерії оцінки якості функціонування системи. Такими моделями є оптимізаційні моделі. Нормативні моделі описують норми функціонування системи і обов'язково включають дескриптивні моделі.

В залежності від форми представлення властивостей системи моделлю виділяють: *мисленні та реальні моделі*.

Мисленні моделі відображаються *аналоговими, макетування, знаковими*

В *аналогових моделях* властивості системи представляються іншою властивістю аналогічної за поведінкою моделі.

Макетування, це відображення властивостей системи за допомогою макету – спрощеного образу системи.

Знакове моделювання – це процес створення логічного об'єкту в заміні реального за допомогою певної системи знаків або символів. Знакові моделі є *формальними*. Тобто усі властивості системи описуються строго формальною мовою, що дозволяє уникнути подвійного трактування опису.

Серед знакових виділяється *математичне моделювання*, яке є процесом встановлення відповідності між реальною системою і математичним об'єктом.

Математичні моделі поділяються на аналітичні та імітаційні.

Аналітичне математичне моделювання передбачає запис процесів функціонування системи у вигляді співвідношень інтегро-диференціальних та алгебраїчних виразів.

Імітаційне моделювання – реалізація моделі або сукупності моделей системи за допомогою алгоритму, який відтворює процес функціонування системи в часі, тобто її динаміку.

Реальне моделювання – дослідження характеристик системи на реальній системі, або на її подібній частині. З реальним моделюванням пов'язані процеси експериментального дослідження системи, натурний та науковий експерименти, комплексні випробовування.

4.3. КORTEЖНИЙ ЗАПИС МОДЕЛІ.

Кортежний запис моделі системи дозволяє у певній мірі проілюструвати розглянуті вище класифікаційні ознаки на формальному рівні.

Цей запис моделі системи має такий вигляд:

$$E: \langle X, Y, B, A, T, W, F \rangle$$

X – множина “входів” системи.

Y – множина “виходів” системи.

B – множина постійних параметрів системи.

A – множина змінних параметрів системи.

T – множина параметрів процесів в системі.

W – оператор динаміки, який дозволяє відобразити множини X, T, B у множину A

$W(X,T,B) \rightarrow A$

F – оператор системи, який дозволяє множини X, T, B, A відобразити у виходи, описує основні функції системи, мету і призначення

$F(X,T,B,A) \rightarrow Y$.

Якщо в моделі системи відсутні параметри процесу, тоді F відображає

$F(X,B) \rightarrow Y$.

Моделі із таким оператором є статичними.

Якщо присутні параметри процесів, то F відображає модель динамічної системи.

Залежно від запису моделі системи і властивостей її множин, розрізняють різні методи моделювання.

Якщо всі множини в даній моделі є неперервними, то отримуватимемо неперервні моделі.

За умов дискретності множин X, T, B, A модель системи буде дискретною, хоча найчастіше дискретним моделям властивий дискретний спосіб задання множини параметрів процесів в системі.

Якщо оператор F лінійний, тобто відношення між множинами є лінійними, то модель системи буде лінійною, в іншому випадку - нелінійною.

Залежно від лінійності відношень між окремими множинами у моделях розрізняють лінійні чи нелінійні моделі за входами (відношення між входами та виходами), лінійні чи нелінійні за параметрами (відношення між параметрами та виходами).

Якщо хоча б одна із множин X, T, B, A в складі моделі формується за умов невизначеності, то модель є стохастичною чи інтервальною.

Контрольні запитання.

1 Моделювання як спосіб наукового пізнання та його призначення в СА. Поняття адекватності моделі.

2 Класифікація моделей.

3 Короткий запис моделі.

ТЕМА 5.АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ В СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

- 5.1 Аналітичний підхід до дослідження складних систем.
- 5.2 Повнота моделі. Декомпозиція та агрегування.
- 5.3 Види агрегатів СА.
- 5.4 Системні особливості моделей інформаційних систем.

5.1. Аналітичний підхід до дослідження складних систем

Протиріччя між необмеженістю бажання людини пізнати світ та обмеженістю існуючих можливостей це зробити, між безмежністю природи та скінченністю ресурсів людства привели до того, що у процесі пізнання ці протиріччя розв'язуються поетапно за допомогою аналітичного та синтетичного мислення.

Суть аналізу полягає в поділі цілого на компоненти, представленні складного у вигляді сукупності простіших компонент.

Але, щоб пізнати ціле, складне, необхідний обернений процес — **синтез**.

При **аналітичному підході** до дослідження систем телеологічний (цільовий) аспект її функціонування практично не розглядається. Модель системи будується на ґрунті вивчення окремих підсистем та елементів з наступним формулюванням локальних цілей, які відображають окремі сторони процесу моделювання. Далі, використовуючи отриману інформацію, створюються окремі компоненти моделі, об'єднання яких утворює модель системи. Такий підхід виправданий у тих випадках, коли компоненти системи відносно незалежні і, як наслідок, різні сторони функціонування системи можуть бути досліджені також відносно незалежно.

Використовуючи аналітичний підхід, дослідник вивчає систему «зсередини», маючи обмежений горизонт, тобто в стані досягнути лише одну або в кращому разі декілька компонент системи зі зв'язками між ними. Очевидно, що при цьому губиться уявлення про мету функціонування системи як єдиного цілого, і дослідник головним чином вивчає властивості компонент, тобто не в стані досягнути емерджентні властивості системи.

Аналітичний підхід в явній формі був виділений та сформульований у XVII-му ст. раціоналістами, одним з найвідоміших з них був Р. Декарт. Успіх та значення аналітичного підходу полягає не лише в тому, що складне поділяється на все менш складні частини, а в тому, що з'єднавши ці частини відповідним чином, знову утворюється єдине ціле. Цей момент агрегування складових в ціле і є остаточним етапом аналізу, тому що лише після цього ми можемо пояснити ціле через його частини у вигляді структури цілого.

Однак цілісність системи має величезне значення, що особливо підкреслювалося Р. Акофом. Цілісність при аналізі порушується, при розчленуванні системи втрачаються не лише суттєві властивості системи («розібраний автомобіль не поїде»), але й зникають і суттєві властивості частин системи («відділене кермо автомобіля не кермує, відділене око не бачить»). Тому за Акофом результатом аналізу є лише відкриття структури, знання того, як система працює, а не розуміння того, чому і навіщо вона це робить.

«Синтетичне мислення вимагає пояснення поведінки системи. Воно суттєвим чином відрізняється від аналізу. На першому кроці аналізу річ, що підлягає поясненню, розділяється на частини; в синтетичному мисленні вона повинна розглядатися як частина великого цілого. На другому кроці аналізу пояснюються складові частини; в синтетичному мисленні пояснюється ціле, до складу якого входить річ. На останньому кроці аналізу знання про частини агрегується в знання про ціле; в синтетичному мисленні розуміння цілого, що має у своєму складі річ, дезінтегрується для пояснення частин. Це досягається розкриттям їх ролей та функцій у цілому. Синтетичне мислення відкриває не структуру, а функцію; воно відкриває, чому система працює так, а не те, як вона це робить».

Аналітичний метод дозволяє досягнути найвищих результатів за умови, що ціле вдається розділити на незалежні одна від одної частини, оскільки в цьому випадку їх окремий розгляд дозволяє скласти правильне уявлення про вкладення їх в загальний ефект. Однак випадки, коли система є сумою складових, зустрічаються надзвичайно рідко. Зазвичай вклад частини в загальносистемний ефект

залежить і від вкладів інших складових. Внаслідок цього автономно частина може функціонувати якнайкраще, але загалом ефект функціонування буде далеко не найвищим.

При аналізі «неадитивних» систем основне значення має дослідження не окремих складових, а їх взаємодії, що є значно складнішим завданням. Ідеалом, остаточною метою аналітичного методу є встановлення причинно-наслідкових зв'язків між явищами. Дещо вважається пізнаним і повністю зрозумілим лише в тому випадку, коли відома його причина (сукупність умов, необхідних та достатніх для реалізації наслідку). Однак така ситуація в багатьох випадках є недосяжною, і навіть в тих випадках, коли є причинно-наслідковий опис, все інше повинно бути виключеним. Для причинно-наслідкового описання не існує поняття оточуючого середовища, оскільки для наслідку нічого, окрім причини, не потрібно (приклад — закон всесвітнього тяжіння, справедливий тоді, коли відсутні всі сили, окрім сили тяжіння).

У випадку складних систем виключення на перший погляд «непотрібних» чи «нецікавих» взаємодій може суттєво порушити адекватність моделі і є в багатьох випадках принципово неможливим. Для описання таких ситуацій використовується дві можливості: або відобразити «безпричинну» компоненту через «об'єктивну випадковість» чи «суб'єктивну невизначеність» (чи їх комбінацію), або виходити з того, що відношення «причина-наслідок» є не єдиною можливим способом для описання взаємодії. В останньому випадку застосовується модель «продуцент — продукт», яка виходить з того, що для здійснення продукту продуцент є необхідною, але не достатньою умовою (для дуба жолудь є продуцентом, оскільки окрім нього для виростання дуба потрібні й інші умови). У відношенні «продуцент-продукт» для отримання продукту необхідні й інші умови окрім продуцента, які й утворюють оточуюче середовище. Причинно-наслідковий зв'язок у цьому випадку є граничним ідеальним випадком зв'язку «продуцент-продукт», до якого можна наблизитися, але досягнути якого не завжди можливо.

Отже, не лише аналітичний метод неможливий без синтезу (агрегування частин в структуру), але й синтетичний метод неможливий без аналізу (необхідна дезагрегація цілого для пояснення функцій частин). Аналіз і синтез доповнюють, але не замінюють один одного. Системне мислення суміщає обидва ці методи на основі розгляду призначення складної системи.

5.2. Повнота моделі. Декомпозиція та агрегування

При застосуванні як аналітичного, так і синтетичного підходів виникають обов'язкові кроки, в яких необхідно розкласти ціле на складові (здійснити декомпозицію), або об'єднати складові в ціле (здійснити агрегування).

Основною операцією аналізу є декомпозиція — поділ цілого на частини. Задача розпадається на підзадачі, система — на підсистеми, мета — на підцілі. При необхідності цей процес повторюється, що приводить до побудови ієрархічних деревовидних структур — дерев декомпозиції. Зазвичай об'єкт аналізу є складним, слабо структурованим, погано визначеним, а тому операцію декомпозиції здійснює експерт, і результати, отримані різними експертами, будуть різними.

Якість дерев декомпозиції залежатиме як від кваліфікації експертів, так і від застосованої методики декомпозиції. Зазвичай, операція декомпозиції реалізується експертом відносно просто, і основні труднощі виникають при доведенні ненадлишковості та повноти отриманого набору компонентів. Обґрунтуванням власне такого, а не іншого розбиття є модель системи. Отже, операція декомпозиції є не чим іншим, як співставленням об'єкта аналізу з деякою моделлю, виділення того, що відповідає елементам моделі, тобто питання повноти декомпозиції є питанням завершеності моделі. Однак і сама модель-основа може відображати реальний об'єкт з різним ступенем деталізації (наприклад, «цикл життя» проекту інформаційної системи в залежності від використовуваних стандартів та корпоративних особливостей може включати різну кількість етапів чи стадій).

Основою для декомпозиції може служити лише конкретна, змістовна модель системи, що розглядається.

Вибір формальної моделі лише підказує, орієнтує, якого типу повинна бути модель-основа, тобто формальну модель необхідно наповнити змістом, щоб реалізувати декомпозицію. Повнота декомпозиції забезпечується повнотою моделі-основи, тобто, насамперед, слід забезпечити повноту формальної моделі.

Отже, одним із завдань системного аналізу є накопичення наборів повних формальних моделей (у штучному інтелекті ці моделі називають фреймами). Повнота формальної моделі є необхідною, але не достатньою умовою для повноти декомпозиції. Врешті-решт, все залежить від повноти змістовної моделі, що будується «за зразком» формальної моделі, але не тотожна їй. Фрейм лише концентрує увагу експерта до необхідності розгляду, що ж в даній конкретній системі відповідає кожному з елементів фрейму, а експерт має вирішити, що включити до складу змістовної моделі. Цей момент є надзвичайно відповідальним, оскільки те, що не потрапить в модель-основу, не з'явиться в подальшому аналізі.

Фреймова модель входів організаційної системи (рис. 6.1.) рекомендує визначити конкретно, що розуміється під «суттєвим середовищем».

Щоб зберегти повноту та можливість розширення змістовної моделі (формальна модель входів у наведеному прикладі повна!) рекомендується здійснити логічне замикання переліку її елементів компонентою «все інше» («мовчазна» компонента, що нагадуватиме експерту про можливість неврахування деяких важливих складових моделі).

Отже, в результаті декомпозиції виникає певна деревовидна структура, що повинна забезпечувати виконання двох суперечливих вимог кількісного характеру організаційної системи: повноти та простоти.

Принцип простоти вимагає зменшення розмірів дерева. Оскільки розміри дерева «в ширину» визначаються числом елементів моделі-основи, то для декомпозиції слід обирати якомога компактніші моделі-основи. З іншого боку, згідно до принципу повноти, слід обирати якомога детальніші, більш розвинуті моделі. Компроміс в цьому випадку досягається за допомогою принципу суттєвості: в модель-основу повинні включатися лише компоненти суттєві з точки зору мети аналізу (релевантні). Оскільки це поняття неформальне, то слід передбачити можливість внесення поправок та доповнень з боку експерта у модель-основу. Однією з таких можливостей є доповнення переліку елементів моделі-основи елементом «все інше, що залишилося», іншою — розбиття окремих елементів моделі-основи на складові та внесення їх до числа елементів моделі-основи.

Щодо розмірів дерева «в глибину», то бажано, щоб кількість рівнів була невеликою (принцип простоти), але згідно до **принципу повноти** повинна існувати можливість продовжувати декомпозицію до прийняття рішення про її припинення для кожної окремої гілки. Рішення про припинення приймається в тому випадку, коли декомпозиція привела до результату (підфункції, критерію, підзадачі, підцілі), які є зрозумілими, можуть бути реалізованими, забезпеченими, виконаними — до отримання елемента згідно обраного критерію декомпозиції. Неелементарний фрагмент підлягає декомпозиції за іншою моделлю-осною, що ще не використовувалася. Звичайно, в цьому випадку якість аналізу залежатиме також від порядку використання моделей-основ.

Якщо переглянуті всі фрейми (формальні моделі) і не досягнута елементарність, то слід розглянути можливість введення нових елементів в модель-основу шляхом розщеплення наявних складових моделі-основи або виділення з «всього іншого» нової суттєвої складової моделі-основи.

У випадку, коли експерт визнає, що його компетентності недостатньо для подальшого аналізу отриманого фрагменту і необхідно залучити експерта іншого фаху, така ситуація розв'язується шляхом залучення додаткових експертів. Випадок, коли декомпозиція закінчується елементарними фрагментами на всіх гілках дерева (навіть із залучення різних експертів та джерел), є найпростішим. В будь-якому випадку існує небезпека неповного аналізу, а тому експерти повинні виявляти не лише переваги, а й обов'язково недоліки проекту. Неможливість доведення декомпозиції до елементарного фрагмента є позитивним результатом — хоча при цьому складність не спрощується, але сфера її дії конкретизується і локалізується справжня причина цієї складності (знання про те, що власне ми не знаємо, є не менш важливим, ніж саме позитивне знання).

Отже, аналіз, як спосіб подолання складності, дозволяє повністю звести складне до простого лише у випадку складності через непоінформованість (шляхом залучення додаткових експертів); у випадку складності, що виникає через нерозуміння, аналіз не дозволяє звести складне до простого, але локалізує її. В дійсності новим знанням є не лише виявлення та конкретизація того, що ми не знаємо, але й відповідним чином опрацьовані фрагменти старих знань, які набувають нової якості.

Агрегування — це операція об'єднання декількох, елементів в єдине ціле, протилежна до декомпозиції. Об'єднані елементи, що взаємодіють між собою, набувають не лише зовнішньої, але й

внутрішньої цілісності, єдності. Зовнішня цілісність відображається моделлю «чорної скрині», а внутрішня — пов'язана зі структурою системи, і виявляється в тому, що властивості системи є більшими, ніж сума властивостей об'єднаних елементів. Отже, при об'єднанні елементів виникає дещо якісно нове, чого не могло бути без цього об'єднання.

5.3. Види агрегатів СА

Техніка агрегування ґрунтується на використанні певних моделей системи, а саме: модель складу, яка визначає, що повинно ввійти до складу системи та модель структури, яка відображає зв'язки елементів між собою. В загальному вигляді агрегування визначається через встановлення відношень (системотворчих відношень) на множині елементів. Агрегатами, типовими для системного аналізу, є конфігуратор, агрегати-оператори та агрегати-структури.

З одного боку, системний аналіз має міждисциплінарний характер, тобто системний аналітик може залучити з метою дослідження системи інформацію з будь-якої галузі знань, при потребі залучити експерта з того чи іншого питання. Однак якщо у процесі декомпозиції вирішення цієї проблеми досягалося шляхом компромісу — за допомогою потягтя суттєвості, що супроводжувалося ризиком недостатньої повноти чи зайвої деталізації, то в процесі агрегації проблема ускладнюється, тому що ризик неповноти є майже неприпустимим. Виходячи з цього виникло поняття конфігуратора.

Конфігуратор. Будь-яке дійсно складне явище вимагає сумісного (агрегованого) описання в термінах декількох якісно відмінних мов. Конфігуратором будемо вважати агрегат, що складається з якісно різних мов описання системи, причому кількість цих мов є мінімально необхідною для досягнення мети.

Головним в конфігураторі є не те, що аналіз об'єкта повинен проводитися кожною мовою конфігуратора окремо, а те, що синтез можливий лише при наявності всіх описів.

Конфігуратор є змістовною моделлю найвищого рівня. Перерахувавши мови, якими ми будемо описувати систему, ми тим самим визначаємо, синтезуємо тип системи, фіксуємо наше розуміння природи системи. Як і будь-яка модель, конфігуратор має цільовий характер і при зміні мети може втратити властивості конфігуратора.

Агрегати-оператори. Особливістю агрегатів-операторів є зменшення розмірності, об'єднання частин в дещо ціле, єдине, окреме.

Дуже часто виникають ситуації, в яких сукупність даних, якими необхідно оперувати, дуже чисельна, внаслідок чого з ними складно і незручно працювати. Саме це і приводить до необхідності агрегування — в цьому випадку на перше місце висувається така особливість агрегування, як зменшення розмірності, і агрегат об'єднує частини в дещо ціле, єдине та окреме.

Найпростіший спосіб агрегування полягає у встановленні відношення еквівалентності між елементами, що підлягають агрегації, тобто утворення класів. Класифікація є дуже важливим, багатобічним, багатофункціональним явищем, і з практичної точки зору важливими проблемами є як визначення класів, так і визначення, до якого класу належить той чи інший конкретний елемент.

Якщо класифікаційна ознака є спостерігальною, то виникає лише питання про надійність класифікації, а в тому випадку, коли ознака формулюється нечітко, можна говорити лише за ступінь належності до того чи іншого класу.

Складності класифікації суттєво збільшуються, якщо класифікаційна ознака не спостерігається безпосередньо, а сама є агрегатом побічних ознак. Типовим прикладом є діагностика захворювання: діагноз хвороби (назва хвороби — це й є ім'я класу) є агрегатом великої кількості її симптомів та характеристик стану організму. Якщо класифікація має природний характер, то агрегування побічних ознак може розглядатися як виявлення загальних закономірностей в таблицях експериментальних даних, що досягається перебором всіх можливих комбінацій ознак з метою перевірки їх наявності в навчаючій вибірці. Метод морфологічного аналізу систем Ф. Цвікі, комп'ютерне виявлення закономірностей, розв'язання задач дискретної оптимізації — це приклади застосування перебору, успіх якого значною мірою залежить від того, чи вдається знайти метод скорочення перебору, щоб отримати «добрі» розв'язки (як у різних варіантах методу гілок та границь). Отже, агрегування в класи є ефективною, але далеко не завжди тривіальною процедурою.

У випадку, коли ознаки, що агрегуються, вимірюються в числових шкалах, може виявитися можливим задати відношення на множині ознак у вигляді числової функції багатьох змінних, яка й буде агрегатом.

Прикладом однозначності агрегата-функції є вартісний аналіз економічних систем (але не інформаційно-вартісний — це вже агрегат-конфігуратор) — якщо всі діючі фактори можуть бути представлені у вартісному вимірі, то агрегат буде алгебраїчною сумою їх значень. Але й у цьому випадку питання залишається — чи можна при цьому знехтувати іншими системами цінностей?

Важливим видом агрегування даних є **статистичний аналіз**. Особливе місце займають достатні статистики, що дають можливість витягнути з сукупності спостережень всю корисну інформацію. Однак при агрегуванні втрати інформації є неминучими, а тому важливе місце займають оптимальні статистики, що дозволяють зменшити втрати до мінімуму в певному заданому сенсі. Наочним прикладом статистичного агрегування є факторний аналіз, в якому декілька змінних приводяться до одного фактора.

Агрегат-оператор дозволяє зменшити розмірність інформації, але при його застосуванні слід вважати на можливі наступні негативні особливості:

- втрата корисної інформації, оскільки агрегування є необоротним перетворенням (найпростіший приклад — за сумою неможливо повернутися до значень її складових);

- агрегування — це вибір певної визначеної моделі системи, з чим пов'язані непрості проблеми оцінки адекватності;

- для деяких агрегатів властива внутрішня суперечність (приклад — парадокс голосування Ероу).

Агрегати-структури. Як і будь-який інший вид агрегату, структура є моделлю системи і визначається об'єктом, метою та засобами моделювання. У процесі синтезу ми створюємо структуру майбутньої системи, що проектується. В реальній, а не абстрактній системі, виникнуть, встановляться і почнуть працювати не лише ті зв'язки, які ми запроектували, а й інші, що властиві природі об'єднаних в систему елементів. Тому при проектуванні системи важливо задати структури в її суттєвих відношеннях. Отже, сукупність всіх існуючих відношень визначається конфігуратором відношень, і проект системи повинен мати розробку стільки структур, скільки мов включено в її конфігуратор.

З ускладненням об'єктів моделювання виникла необхідність розгляду їх з вищого рівня — **метарівня**. При цьому дослідник розглядає систему як підсистему деякої метасистеми, що дозволяє створити модель, яка розв'язує поставлені задачі в якості складової частини метасистеми. Системний підхід реалізує «погляд ззовні» на систему, тобто насамперед потрібно виділити систему як єдине ціле з зовнішнього світу, визначити межі зовнішнього середовища та мету функціонування системи. У процесі цих дій необхідно чітко сформулювати мету побудови моделі, тобто відповісти на запитання: «Навіщо будується модель?», так як від цього суттєво залежать межі визначення системи та зовнішнього середовища, вимоги, що ставляться до моделі, та її системотворчі відношення.

На основі вимог до моделі, обмежень, які накладаються зовнішнім середовищем та обмежень на реалізацію моделі формується критерій декомпозиції (розбиття) системи. Цим визначаються окремі елементи системи, кількість зв'язків між ними та їх якісні відмінності, тобто формування критерію декомпозиції суттєво впливає як на складність моделі, так і на ступінь відповідності (адекватності) її об'єкта, функціонування якого моделюється.

Процес розробки моделі на ґрунті системного підходу включає в себе дві основні складові — макропроекування та мікропроекування.

При **макропроекуванні** формується інформація про реальну систему та зовнішнє середовище, будується модель зовнішнього середовища, формулюються критерії якості функціонування системи, що відображають її мету, критерії оцінки ступеня відповідності моделі системі (критерії оцінки адекватності моделі), критерії декомпозиції системи, будується модель системи.

Шляхом **мікропроекування** створюється інформаційне, математичне та програмне забезпечення, здійснюється вибір технічних засобів, на яких буде реалізована модель. Після цього визначаються основні характеристики створеної моделі, такі як час циклу моделювання та необхідні витрати ресурсів.

5.4. Системні особливості моделей інформаційних систем

В основі моделювання знаходяться інформаційні процеси: створення моделі ґрунтується на інформації про реальний об'єкт, що моделюється; в процесі моделювання отримується нова інформація

про систему; суттєве місце займає опрацювання та інтерпретація отриманої інформації; в процесі реалізації експериментів на моделі вводиться керуюча інформація.

Характерною особливістю моделей інформаційних систем є експериментування на моделі з метою підтвердження висунутих гіпотез або обґрунтування необхідних дій у різних ситуаціях (тобто в більшості випадків моделі, що використовуються, є моделями імітаційного типу). В цьому випадку під експериментом розуміють деяку процедуру організації та спостереження певних явищ, що здійснюються в умовах близьких до реальних, або їх імітують. У той же час для створення моделі необхідна деяка первісна інформація, яку можна отримати також шляхом експерименту.

Розрізняють **пасивний експеримент**, якщо дослідник спостерігає реальний процес (основний метод отримання первинної інформації для побудови моделі інформаційної системи), та **активний**, якщо дослідник цілеспрямовано планує та проводить експеримент (основний метод отримання нової інформації шляхом експериментування на моделі для інформаційних систем). Основним недоліком пасивного експерименту є те, що таким чином моделюється минуле, а також неможливість або недоцільність виявлення критичних ситуацій. Інформаційні системи як об'єкт моделювання все більш ускладнюються, і, відповідно, моделі отримують нові якості — так, якщо модель призначена для керування, то вона сама входить до складу системи, що моделюється, і може розглядатися в якості складної системи. Крім того, така модель може складатися з комплексу підмоделей, що описують різні частини інформаційної системи, або ж розглядають її на різних шарах.

Для моделей інформаційних систем характерні наступні особливості:

Двоїстість мети. З одного боку це мета функціонування власне системи, що моделюється, яка в багатьох випадках описується в вигляді множини критеріїв, що відображають різні її аспекти. З іншого боку, це мета створення моделі (одноразове використання, періодичне використання, використання в контурі управління), що має безпосередній вплив на критерії оцінки адекватності моделі, точності та достовірності модельних результатів.

Складність моделі, яку дуже приблизно можна оцінити на основі загального числа елементів певних типів та взаємозв'язків між ними. Крім того, різноманітність елементів та зв'язків між ними для забезпечення виконання одного з головних кібернетичних принципів — принципу необхідної різноманітності — приводить до побудови моделі у вигляді ієрархічної структури.

Невизначеність інформаційної системи виявляється і в моделі. Оскільки в багатьох випадках ця невизначеність не має характеру стохастичності, необхідно вводити в такі моделі підсистеми експертного типу, елементи штучного інтелекту та передбачати можливість маніпулювання з нечіткими множинами. Так, для прогнозування курсу валют з успіхом використовуються моделі перцептронного типу.

Особливістю моделей, які працюють в контурі управління, є **адаптованість**, тобто здатність цілеспрямовано функціонувати в умовах нестаціонарного середовища, що досягається реалізацією вищенаведеного системного принципу адаптації.

Характерною особливістю правильно побудованої моделі є те, що вона відбиває лише ті аспекти реальної системи, які цікавлять дослідника, тобто є в певному сенсі мінімальною.

Основною проблемою моделювання є досягнення оптимального компромісу між адекватністю моделі та її простотою.

Зі зростанням складності моделі зростає ступінь відповідності її до системи, що моделюється, однак разом з цим час отримання результатів та можливості її практичної реалізації зменшуються. Зі спрощенням моделі покращуються її характеристики в часі, однак при цьому можуть бути загублені суттєві аспекти функціонування реальної системи, і модель стане непридатною до використання внаслідок втрати адекватності. Визначення компромісу суттєвим чином залежить від досвіду та знань особи, що приймає рішення. Як стверджують результати досліджень (правило «80 на 20»), в правильно сконструйованій моделі 20% змінних на 80% визначають функціонування моделі, а 80% змінних — на 20%. Виходячи з викладеного можна стверджувати, що хоча й існують загальні закономірності побудови моделей інформаційних систем, процес їх побудови не може бути строго формалізованим і значною мірою є мистецтвом.

Метод моделювання широко використовується й на різних етапах проектування та створення інформаційних систем.

На етапі розробки технічного завдання на створення інформаційної системи моделі в основному мають описовий характер та переслідують за мету найбільш повно в компактній формі надати інформацію, необхідну розробнику.

На етапах технічного та робочого проектів моделі окремих складових підсистем деталізуються і моделювання служить для розв'язування конкретних задач проектування, тобто вибору оптимального розв'язку з множини припустимих. В основному на цих етапах моделі використовуються для синтезу.

Моделювання на етапах впровадження та супроводу системи використовується для імітації можливих ситуацій з метою прийняття обґрунтованих оперативних та перспективних керуючих рішень. Окрім того імітація також широко використовується для навчання та тренування користувачів інформаційної системи.

У процесі еволюції об'єкта керування розвиваються й вдосконалюються інформаційні системи та моделі, що входять до їх складу, і значення моделей в прогнозуванні розвитку реальної системи надзвичайно велике, так як це по суті одна з небагатьох можливостей знайти відповіді на питання про стратегію подальшого ефективного розвитку систем.

Контрольні запитання.

- 1 Аналітичний підхід до дослідження складних систем.
- 2 Повнота моделі. Декомпозиція та агрегування.
- 3 Види агрегатів СА.
- 4 Системні особливості моделей інформаційних систем.

ТЕМА 6. МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ.

- 6.1 Аксіоматичний підхід дослідження систем.
- 6.2 Метод “чорної скриньки”. Невизначеність при побудові моделей “вхід вихід”.
- 6.3 Проблеми побудови оптимізаційних моделей в системному аналізі.
- 6.4 Імітаційне моделювання при прийнятті рішень.

6.1. Аксіоматичний підхід дослідження систем.

Аксіоматичний підхід є найбільш поширених підходів при формальному дослідженні систем. Його особливістю є те, що модель будується на певних базових припущеннях, які не вимагають теоретичного обґрунтування – *аксіомах*.

Окрім базових припущень про внутрішні системні механізми, що вивчаються, при аксіоматичному підході важливим є припущення про достатність математичної моделі для досягнення мети моделювання.

Основними вимогами до базових припущень є:

- несуперечність системи аксіом;
- абстрактність, яка включає терміни та символи формальної мови, вислови на них побудовані, які формують математичні вирази для опису характерних властивостей системи чи правила виведення нових виразів.

Базові припущення формуються на основі змістовного (вербального) описання функціонування системи. Процес побудови аксіоматичної моделі вимагає інтерпретації та переведення змістовного описання на мову строгих математичних відношень та термінів. При цьому усуваються багатозначність трактування, неповнота, неясність та неконкретність властиві змістовному описанню.

Послідовність досліджень при аксіоматичному підході.

1. Відображення уявлень дослідників про систему за допомогою змістовного опису системи.
2. Формалізація змістовного опису та побудова системи аксіом – як уявлень про майбутню модель системи.
3. Отримання моделі системи на основі аксіом шляхом гомоморфного відображення реальних властивостей системи за допомогою формалізованого виведення.
4. Інтерпретація моделі на основі пояснення теоретичних результатів – як відображення результатів діяльності реальної системи. Перевірка достовірності, точності, повноти моделі та встановлення меж змістовної відповідності.
5. Побудова теорії за результатами інтерпретації та визначення меж її застосування. Пояснення за допомогою теорії відомих фактів поведінки системи.
6. Застосування теорії з метою виявлення нових властивостей системи.
7. Експериментальне підтвердження отриманих результатів застосування теорії.

Аксіоматичний підхід добре зарекомендував себе при побудові детермінованих моделей та при розв’язуванні проблем, що можуть бути строго формалізовані. Складні ж проблеми, є слабо структурованими і не можуть бути повністю формалізовані. Як правило аксіоматичний підхід можна з успіхом застосовувати для дослідження окремих підсистем та елементів у детермінованому середовищі.

6.2. Метод “чорної скриньки”. Невизначеність при побудові моделей “вхід вихід”.

Кібернетичне трактування неможливості повної ідентифікації усіх властивостей системи, її структури втілюється в ідеї “чорної скриньки”.

Моделі “чорної скриньки” дозволяють відобразити ті входи та виходи системи необхідні для вивчення однієї з сторін її функціонування, тому називаються моделями “вхід-вихід”. При побудові такої моделі встановлюється відношення між цими входами та виходами. Модель “вхід-вихід” відображає основні властивості системи, такі як цілісність та відносну ізолюваність через наявність зв’язок із зовнішнім середовищем.

При побудові моделі “вхід-вихід” проблемою є визначення тих входів та виходів, які необхідно включати до складу моделі, оскільки при вивченні системи модель постійно модифікується. Реальна

система взаємодіє із середовищем через нескінченну кількість способів, тобто через нескінченну кількість входів та виходів. Критерієм відбору цих входів та виходів є цільове призначення системи, суттєвість того чи іншого зв'язку системи із середовищем. У моделі ми вимушені відобразити скінченну кількість взаємодій і тим самим існує висока ймовірність не включення саме тих входів та виходів, які найбільш суттєво визначають властивості системи.

Складність проблеми відбору найбільш значущих входів та виходів посилюється ще й тим, що невключені зв'язки із зовнішнім середовищем не зникають, а певним чином діють незалежно від нас і тим самим ускладнюють вивчення поведінки системи.

При побудові моделей “вхід-вихід” невраховані та невідомі зв'язки із зовнішнім середовищем представляють за допомогою *спрощених моделей невизначеності*. Сучасні підходи до побудови моделей “вхід-вихід” побудовані на відображенні однієї з таких форм невизначеності: *стохастичної* та *теоретико-множинної*, або їх комбінації.

У цих випадках модель система розглядається у вигляді “чорної скриньки”, зображеної на рис. 6.1.

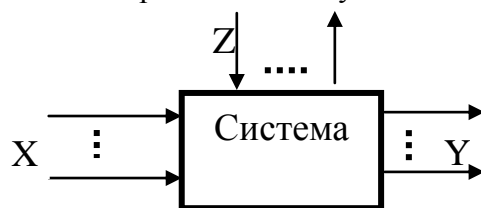


Рис. 6.1

У випадку прийняття гіпотези про випадкову (імовірнісну) природу дії неврахованих та невідомих зв'язків із зовнішнім середовищем використовують стохастичну форму невизначеності. Суть її у кількісному виразі зводиться до того, що дія середовища на систему і системи на середовище відображається у випадкових змінах характеристик контрольованих і врахованих зв'язків. Для дослідження випадкових змін цих характеристик використовують методи статистичного оцінювання. В результаті такого дослідження знаходять оцінки сумісної функції щільності розподілу ймовірностей випадкових величин $\hat{W}(\bar{Z})$ чи оцінки основних моментів $\hat{M}(\bar{Z}), \hat{D}(\bar{Z})$ – математичного сподівання та дисперсії (матриці коваріацій).

Теоретико-множинна форма невизначеності виникає в тому випадку, коли природа дії неврахованих та невідомих зв'язків із зовнішнім середовищем невідома. Тоді у кількісному виразі дія середовища на систему і системи на середовище відображається в характеристиках контрольованих і врахованих зв'язків у вигляді належності значень цих характеристик певним відомим множинам. цих зв'язків певним множинам. Якщо ці множини визначенні у нечітких з точки зору математики термінах, то для опису невизначеності використовують теорію нечітких множин. і про них можна тільки сказати, що вони змінюються в певних межах. Частковим випадком опису теоретико-множинної форми невизначеності є інтервальне представлення характеристик системи, тобто у вигляді інтервалів можливих значень.

Процедури перевірки гіпотез про форми невизначеності побудовані на аналізі експериментальних даних, способі їх отримання та природи формування.

Залежно від способу опису форм невизначеності при побудові моделей “вхід-вихід” використовують різні підходи до моделювання: детермінований, стохастичний та теоретико-множинний чи інтервальний. Кожен із вказаних підходів визначатиме відповідну методологію побудови моделей “вхід-вихід”.

6.3. Проблеми побудови оптимізаційних моделей в системному аналізі.

Побудова оптимізаційних моделей з математичної точки зору передбачає використання дескриптивних моделей у такому складі: модель (моделі) критеріїв, моделі обмежень. Така постановка дозволяє знайти оптимальні дії для ефективного функціонування системи, або Паретто-оптимальну множину оптимальних дій (у випадку великої кількості критеріїв).

Оптимізаційна модель вимагає змістовного опису і будується у такій послідовності:

1. Розробка дескриптивної моделі, яка описує якість функціонування системи та визначає мету.

2. Побудова множини критеріїв оцінки якості та визначення шкал їх вимірювання.
3. Проведення статистичних досліджень і узгодження з ними моделі.
4. Формалізація задач знаходження оптимальних розв'язків.
5. Вибір методу розв'язування оптимізаційної моделі
6. Оцінювання результатів розв'язування оптимізаційної задачі та їх інтерпретація.

В системному аналізі проблеми оптимізації пов'язані з тим, що незначні зміни в умовах задачі можуть привести до вибору суттєво різних альтернатив. Інша проблема оптимізації полягає в тому, що знайдене локально-оптимальне рішення може бути й зовсім не оптимальним з точки зору “надсистеми”, що вимагає координувати критерії підсистем з критеріями системи.

При дослідженні складних систем поняття оптимальності набуває дещо іншого трактування, ніж це прийнято в математиці. В цих умовах проблема вибору оптимальної альтернативи полягає, по-перше – в наявності великої кількості критеріїв та необхідності урахування їх різної важливості, а по-друге в нечіткості формулювання мети, що призводить до нечіткого, описового формулювання критеріїв.

6.4. Імітаційне моделювання при прийнятті рішень.

Імітаційні моделі дозволяють проводити чисельні експерименти є надзвичайно універсальними.

При експериментуванні на імітаційній моделі можливе внесення таких змін:

- в структуру моделі
- моделей поведінки, параметрів моделей
- параметрів та законів розподілу випадкових факторів
- значень та зміни в часі зовнішніх змінних.

Імітаційна модель повинна відповідати таким вимогам:

- логічна причинно-наслідковість повинна відповідати характеристикам системи, що моделюється
- характер та зміст інформації про процеси, що спостерігаються за допомогою моделі повинні зберігатися подібними до системи
- в моделі повинні спостерігатися зміни, що єсуттєвими з точки зору дослідника в реальній системі.

Реалізація імітаційного підходу набуває все більших можливостей з розвитком комп'ютерної техніки і це своєю чергою відбивається на розробці методологій імітаційного моделювання. Методології імітаційного моделювання являють собою комбінування методологій побудови складових імітаційних моделей, таких як застосовуються при аксіоматичному підході, побудові оптимізаційних моделей та моделей “чорної скриньки”.

Контрольні запитання.

- 1 Аксіоматичний підхід дослідження систем.
- 2 Метод “чорної скриньки”. Невизначеність при побудові моделей “вхід вихід”.
- 3 Проблеми побудови оптимізаційних моделей в системному аналізі.
- 4 Імітаційне моделювання при прийнятті рішень.

ТЕМА 7. СИСТЕМНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ СТОХАСТИЧНОГО ТА ТЕОРЕТИКО-МНОЖИННОГО ПІДХОДІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ “ВХІД-ВИХІД”.

- 7.1 Основні задачі синтезу моделей “вхід-вихід” статичних систем на основі експериментальних даних.
- 7.2 Особливості стохастичного підходу.
- 7.3 Основні етапи регресійного аналізу.
- 7.4 Методологія теоретико-множинного, інтервального підходу.
- 7.5 Планування насичених експериментів у випадку інтервального представлення вихідних змінних моделей статичних систем.
- 7.6 Методологічні аспекти структурної ідентифікації моделей систем.

7.1. Основні задачі синтезу моделей “вхід-вихід” статичних систем на основі експериментальних даних

Найбільшого поширення серед моделей систем, що будуються в умовах невизначеності, набули статистичні та імовірнісні моделі типу “вхід-вихід”, які задають залежність між вихідними показниками системи та її входами. Серед них можна виділити регресійні моделі, якими описують статичні (безінерційні) системи. При цьому висувають припущення, що систему можна описати функціональною залежністю у такому вигляді:

$$y = \eta(\vec{x}, \vec{b}, \vec{z}),$$

де y – вихідна змінна; $\vec{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$ – вектор вхідних змінних, які можна змінювати в деякій області \mathcal{X} ; \vec{b} – вектор параметрів функції η ; \vec{z} – вектор неврахованих або невизначених факторів, шумів, похибок (як правило) випадкової природи та ін.

Переважно кожна вихідна характеристика системи описується окремою функціональною залежністю. Тому надалі не обмежуючи загальності будемо розглядати моделі статичних систем з однією вихідною змінною.

Основою для побудови математичної моделі системи часто є результати експерименту, який можна зобразити у вигляді матриці значень вхідних та вектора значень вихідної змінної у всіх спостереженнях:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} \dots x_{1n} \\ \dots \dots \dots \\ x_{N1} \dots x_{Nn} \end{pmatrix}; \quad \vec{Y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_N \end{pmatrix}. \quad (7.1)$$

Рядкам матриці X відповідають вектори \vec{x}_i ($i = 1, \dots, N$) вхідних змінних, що при експериментуванні викликають відповідні значення вихідної змінної y_i . Комбінацію \vec{x}_i , y_i називатимемо спостереженням. Загальна кількість комбінацій N задає кількість спостережень експерименту.

Надалі експериментальні дані будемо розглядати у більш розширеному тлумаченні: – не лише як результат вимірювання значень змінних на реальній системі, але й як результати розрахунків на ЕОМ із застосуванням імітаційної моделі системи, дані експертного опитування і т.д.

Розглянемо три найпоширеніших задачі, що базуються на даних експерименту у вигляді (7.1).

Представлення даних X, \vec{Y} деякою функцією $f(\vec{x}, \vec{\beta})$ називають задачею ідентифікації статичної системи. На сьогоднішній день виділяють задачі ідентифікації об’єкта в “широкому” тлумаченні, коли потрібно знайти вид (структуру) функції $f(\vec{x}, \vec{\beta})$ та її параметри $\vec{\beta}$ і найпростішу параметричну задачу ідентифікації. У випадку параметричної ідентифікації структуру функції вважають відомою. Тоді задача ідентифікації зводиться лише до оцінювання невідомих параметрів. Вона розв’язується просто, якщо функція $f(\vec{x}, \vec{\beta})$ є лінійно-параметричною, тобто записується у такому вигляді:

$$f(\vec{x}, \vec{\beta}) = \beta_1 \varphi_1(\vec{x}) + \dots + \beta_m \varphi_m(\vec{x}), \quad (7.2)$$

де $\varphi_1(\vec{x}), \dots, \varphi_m(\vec{x})$ – відомі базисні функції; β_1, \dots, β_m – невідомі параметри.

Очевидно, що в формулі (7.2) функцію $f(\vec{x}, \vec{\beta})$ можна задати деяким скінченим рядом, наприклад $f(\vec{x}, \vec{\beta})$ є лінійною чи квадратичною функцією, поліномом відомого степеня, рядом Фур'є та ін. Якщо функція $f(\vec{x}, \vec{\beta})$ у якийсь спосіб знайдена, то модель об'єкта вважається побудованою і для кожного спостереження можна, обчислити значення вихідної змінної

$$\hat{y}_i = f(\vec{x}_i, \vec{\beta}), \quad (7.3)$$

тобто одержати вектор \hat{Y} і порівняти його з експериментальним вектором \vec{Y} . Модель узгоджується з даними експерименту X, \vec{Y} тим краще чим менша різниця $|\hat{Y} - \vec{Y}|$. Унаслідок цього задачу параметричної ідентифікації формують так: “за даними експерименту X, \vec{Y} , знаючи структуру (7.2) функції $f(\vec{x}, \vec{\beta})$, оцінити її параметри $\vec{\beta}$ за умовою

$$\Psi(\vec{Y} - \hat{Y}) \xrightarrow{\vec{\beta}} \min, \quad (7.4)$$

де Ψ – деякий функціонал, що характеризує узгодження розрахункових та фактичних значень виходу.

Задача ідентифікації тісно пов'язана із задачею планування експерименту. Для забезпечення найбільшої точності оцінок \vec{b} параметрів $\vec{\beta}$ при заданій кількості спостережень N необхідно певним чином сформулювати та реалізувати в процесі експерименту матрицю X значень вхідних змінних. Процедури формування цієї матриці на основі критеріїв, що забезпечують високу точність моделі або її параметрів розглядаються в рамках теорії планування оптимального експерименту. Як правило, до проведення експерименту, матрицю X плану, що забезпечує певну точність оцінок параметрів, вдається знайти лише у випадку лінійно-параметричної функції виду (1.2). Таким чином задача планування оптимального експерименту формулюється так: “дано структуру лінійно-параметричної функції $f(\vec{x}, \vec{\beta})$, область χ можливої зміни вхідних змінних \vec{x} , кількість спостережень N , необхідно знайти матрицю плану експерименту $X(\vec{x}_i \in \chi)$ таку, щоб забезпечити найбільшу точність прогнозування моделі або точність оцінок \vec{b} її параметрів $\vec{\beta}$ ”.

Під прогнозуванням моделі в даному випадку розуміємо розрахунок значень виходу \hat{y} згідно формул (7.2) та (7.3) за фіксованими векторами $\vec{x} \in \chi$ поза експериментальними точками, але в межах області експерименту.

У ряді випадків дослідник має достатньо точну, але складну для використання модель об'єкта, зображену у вигляді аналітично заданого виразу $y(\vec{x}, \vec{a})$, таблиці X, \vec{Y} чи програмно. Остання ситуація виникає при імітаційному моделюванні складних об'єктів на ЕОМ, коли можна достатньо точно, але в межах похибок заокруглень обчислити відгук y_i на довільну комбінацію входів \vec{x}_i , тобто одержати таблицю X, \vec{Y} . Такий спосіб моделювання об'єкта часто є єдино можливим, хоча й не завжди зручним для аналізу. За цих умов виникає задача наближення складної моделі об'єкта, заданої таблицею, більш простішою математичною моделлю у вигляді функції $f(\vec{x}, \vec{\beta})$. Зауважимо, що дана задача є подібною до задачі ідентифікації структури моделі. При цьому якість наближення як і в задачі ідентифікації можна задати функціоналом (7.4). Спосіб задання умов наближення полягає у забезпеченні функцією $f(\vec{x}, \vec{\beta})$ певного значення точності E_i для всіх табличних значень \vec{x}_i . В цьому випадку задача

наближення розв'язується за умов: $|y_i - f(\bar{x}_i, \vec{\beta})| \leq \varepsilon_i, \forall x_i$.

Очевидно, що така постановка задачі є реальною за умов одержання таблиці даних X, \vec{Y} в результаті імітаційного моделювання на ЕОМ з відомими граничними похибками заокруглень ε_i .

7.2. Особливості стохастичного підходу

Для розв'язування розглянутих задач ідентифікації, планування експерименту та наближення складних моделей простішими, часто використовується метод найменших квадратів (МНК). В МНК за критерій узгодження експериментальних і розрахункових даних прийнята сума квадратів відхилень:

$$\Psi = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2.$$

За допомогою МНК при розв'язуванні задачі ідентифікації моделі у вигляді (7.2) оцінку \vec{b} вектора невідомих параметрів $\vec{\beta}$ отримуємо за формулою:

$$\vec{b} = (F^T F)^{-1} F^T \vec{Y}, \quad (7.5)$$

де

$$F = \begin{pmatrix} \varphi_1(\bar{x}_1) \dots \varphi_m(\bar{x}_1) \\ \vdots \\ \varphi_1(\bar{x}_N) \dots \varphi_m(\bar{x}_N) \end{pmatrix} \quad (7.6)$$

є матрицею значень базисних функцій моделі (7.2), розрахованих в точках експерименту, тобто на основі матриці X .

Дослідження МНК-оцінок \vec{b} , або оцінок отриманих будь-яким іншим способом, проводиться на основі гіпотез про імовірнісну природу похибок в експериментальних даних, зокрема, методом регресійного аналізу. При проведенні регресійного аналізу розглядають певну модель невизначеності у вигляді похибки в даних. Найбільш вивченим є випадок адитивної випадкової похибки спостережень, такого вигляду:

$$y(\bar{x}) = y_o(\bar{x}) + e = f(\bar{x}, \vec{\beta}) + e, \quad (7.7)$$

де $y_o(\bar{x})$ – істинне значення “виходу” об'єкта, задане лінійно-параметричною функцією (7.2); $y(\bar{x})$ – значення виходу, що спостерігається, “змішане” з похибкою e .

В класичному лінійному регресійному аналізі вважають, що похибка e в усіх дослідах експерименту має нормальний розподіл з нульовим середнім і незалежним значеннями в серіях дослідів, тобто

$$M(e_i) = 0, M(e_i^2) = \sigma^2, M(e_i, e_j) = 0 \quad \forall i \neq j. \quad (7.8)$$

У формулі (7.8) $M(\cdot)$ – означає математичне сподівання, а σ^2 – дисперсію.

В літературі зустрічаються і менш жорсткі обмеження стосовно властивостей випадкової похибки e .

Якщо похибка задовольняє умови (7.7) та (7.8), то МНК-оцінка \vec{b} є ефективною і незміщеною оцінкою вектора $\vec{\beta}$ і має нормальний розподіл з параметрами

$$M(\vec{b}) = \vec{\beta}, \text{cov}\{\vec{b}\} = \sigma^2 (F^T F)^{-1},$$

де $\text{cov}\{\vec{b}\}$ – симетрична, розмірності $(m \times m)$ коваріаційна матриця оцінок \vec{b} , діагональні елементи якої визначають їхні дисперсії.

Коваріаційна матриця залежить від матриці значень базових функцій F і, відповідно, від матриці експерименту X . Це дозволяє вводити критерії планування оптимального експерименту за умовою

мінімізації різних характеристик матриці $(F^T F)^{-1}$. Найбільш вживаними є критерії, пов'язані з визначником, слідом і максимальним числом цієї матриці, відповідно, наведеними у такому вигляді:

$$D = \det(F^T F)^{-1}, A = Sp(F^T F)^{-1}, E = \max \lambda_i(F^T F)^{-1} \quad (7.9)$$

Розглянуті критерії забезпечують характеристики точності оцінок параметрів моделі (7.2). Інші критерії планування експерименту безпосередньо стосуються точності прогнозування регресійної моделі і забезпечують мінімум середнього або максимального значення дисперсії прогнозування на області експерименту. Найбільш поширеними серед них є Q - та G -критерії оптимальності.

На сьогоднішній день задачі планування оптимальних регресійних експериментів є достатньо розробленими. Складено каталоги D -, A -, E -, Q -, G -оптимальних планів для випадку, коли функція $f(\vec{x}, \vec{\beta})$ є поліном першого та другого степеня.

Найбільш значних результатів досягнуто при плануванні насичених ($N=m$) регресійних експериментів, як найчастіше практично застосовуваних і найменш затратних.

7.3. Основні етапи регресійного аналізу

I. Формулювання гіпотез:

Гіпотеза 1. Залежність між вхідними і вихідними змінними статичної системи описується лінійно-параметричною функцією:

$$f(\vec{x}, \vec{\beta}) = \beta_1 \varphi_1(\vec{x}) + \dots + \beta_m \varphi_m(\vec{x}),$$

Гіпотеза 2. Відомі дані експерименту представляються у вигляді матриці входу вектора виходу, компоненти якого отримуються у відповідності з формулою $X \rightarrow \vec{Y}$, при цьому похибка e є випадковою, нормально розділеною величиною з нульовим математичним сподіванням $M(e) = 0$, з постійною дисперсією $\sigma^2(e) = const$, незалежними значеннями у всіх спостереженнях $cov(e_i, e_j) = 0$.

Основним завданням регресійного аналізу є оцінювання невідомих параметрів моделі β і дослідження прогнозних властивостей цієї моделі. Оцінки параметрів шукаються серед найкращих лінійних оцінок, тобто за такою формулою:

II. Знаходження оцінок параметрів моделі.

Цей етап може виконуватися із застосуванням методу найменших квадратів за умови виконання гіпотези 2. Отримані оцінки параметрів моделі повинні бути ефективними $\sigma^2(\vec{b}) \rightarrow \min$, незміщеними $M(\vec{b}) = \vec{\beta}, n \rightarrow \infty$.

III. Аналіз точності оцінок параметрів моделі.

Точність оцінок параметрів визначається коваріаційною матрицею $D(\vec{b}) = \sigma^2(e) \cdot (F^T \cdot F)^{-1}$. Діагональні елементи цієї матриці визначають точність параметрів.

Геометричну інтерпретацію точності можна здійснити за допомогою довірчого еліпсоїда розсіювання

$$Q_{(m,\alpha)} = \{ \vec{b} \in R^m \mid (\vec{b} - \vec{\beta})^T \cdot D^{-1}(\vec{b}) \cdot (\vec{b} - \vec{\beta}) = \chi^2(\alpha, m) \},$$

де α – довірна імовірність.

Чим більші розміри еліпсоїда розсіювання, тим менша точність оцінок параметрів.

IV. Аналіз точності моделі.

Оцінка точності моделі проводиться за допомогою функції дисперсії похибки прогнозування на основі моделі:

$$d(\vec{x}) = \vec{\varphi}^T(\vec{x}) \cdot D(\vec{b}) \cdot \vec{\varphi}(\vec{x}).$$

Якщо похибка e розподілена по нормальному закону, то для оцінки точності можна використати довірчий коридор прогнозування регресійної моделі. $I_{\hat{y}(\vec{x})} = [\hat{y}(\vec{x}) - \sqrt{d(\vec{x})} \cdot U(\alpha); \hat{y}(\vec{x}) + \sqrt{d(\vec{x})} \cdot U(\alpha)]$, де $U(\alpha)$ – табличне значення нормованого нормального закону розподілу, яке залежить від довірчої ймовірності: $\alpha = 1 - p$.

V. Перевірка прийнятих гіпотез.

Перевірка адекватності моделі: відповідність прийнятої структури моделі ступенню відображення властивостей системи. При цьому аналізується значущість параметрів моделі за критерієм Стьюдента та адекватності за критерієм Фішера.

Для перевірки гіпотез про адекватність моделі спочатку оцінюємо дисперсію адекватності

$$S_{ad}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 / (N - m),$$

де N – кількість спостережень;

m – кількість параметрів;

\hat{y}_i – прогнозне значення виходу.

Тоді оцінюємо дисперсію похибки в даних

$$S_e^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2 / (N - 1),$$

де \bar{y}_i – сподіване значення виходу.

Наведена формула справедлива за умови однорідності дисперсії на області експерименту.

Знаходимо відношення S_{ad}^2 / S_e^2 і порівнюємо його з табличним значенням $F(\alpha, N-m, m)$ F - розподілу. Якщо $F(\alpha, N-m, m) > S_{ad}^2 / S_e^2$, то можемо із ймовірністю $1-\alpha$ стверджувати, що вибрана структура моделі є задовільною, а модель – адекватна.

При аналізі структури моделі використовують також критерій Стьюдента $|b_i| / S(b_i) \geq t(\alpha, N)$, який дозволяє підтвердити із заданою ймовірністю значущість параметру. При цьому, оцінки дисперсій параметрів $S(b_i)$ отримуємо з діагональних елементів коваріаційної матриці $D(\vec{b}) = \sigma^2(e) \cdot (F^T \cdot F)^{-1}$, а $t(\alpha, N)$ - знаходимо в таблиці значень розподілу Стьюдента.

Для перевірки прийнятих стохастичних властивостей похибки в експериментальних даних (“нормальність”, “незалежність”) використовують відповідно критерій Пірсона та розраховують коваріаційну матрицю оцінок похибок $D(e)$. Якщо гіпотеза про “нормальність”, або висунутий закон розподілу похибки не справджується, то неможливо розрахувати довірчий інтервал. У випадку, коли діагональні елементи коваріаційної матриці вибірових оцінок похибок сильно відрізняються (неоднорідність дисперсії), чи поза діагональні елементи не близькі до нуля (порушення умови “незалежності” спостережень), то для оцінювання параметрів моделі необхідно використати узагальнений МНК:

$$\vec{b} = (F^T D^{-1}(e) F)^{-1} D(e) F^T \vec{Y}.$$

Незважаючи на практичну привабливість і наявність відповідного алгоритмічного і програмного забезпечення для реалізації стохастичних методів експериментальної ідентифікації моделей “вхід-вихід” статичних систем, побудованих на гіпотезах про ймовірнісну природу похибок, достатньо часто їх застосування пов’язане з такими проблемами. По-перше для розрахунку достовірних оцінок статистичних характеристик об’єкта необхідні достатньо великі вибірки експериментальних даних, які не завжди можна отримати. По-друге існує клас об’єктів, коли припущення про ймовірнісну природу, адитивність похибок в експериментальних даних не відповідає реальним властивостям об’єкта. В останньому випадку побудова працездатної математичної моделі на основі стохастичних методів взагалі не можлива.

Про те, що природа не підлягає правилам традиційної ймовірності висловлювався відомий вчений в теорії систем і управління Калман Р. У випадку імітаційного моделювання, чи отримання даних в процесі опитування експертів, наприклад, при побудові моделей нових систем, модель з випадковою похибкою не відповідає дійсності. Дані імітаційного моделювання спотворені невідповідними похибками заокруглень, а дані опитування експертів задають інтервали можливих значень показників. Під час повторних опитувань експертів отримаємо однакові, але неточні результати. Аналогічно, при повторному імітаційному моделюванні, при незмінному наборі вхідних даних результат обчислень буде таким самим, хоча й неточним за рахунок похибок заокруглень.

7.4. Методологія теоретико-множинного-інтервального підходу.

Розглянемо основні етапи інтервального аналізу в розширеному вигляді.

I. Формулювання гіпотез:

Розглянемо основні припущення, на яких базуються методи аналізу інтервальних даних у випадку побудови моделей “вхід-вихід” статичних систем.

У вітчизняній літературі (скоріше всього) ці гіпотези вперше були сформульовані в рамках теоретико-множинного підходу до задач параметричної ідентифікації працях Кунцевича В.М., Личака М.М., та дещо у більш розширеному вигляді (без умов адитивності обмеженої похибки) у працях Вощина О.П.:

Гіпотеза 1. Статична система (об’єкт) описується лінійно-параметричним рівнянням

$$y_o = \beta_1 \cdot \varphi_1(\vec{x}) + \dots + \beta_m \cdot \varphi_m(\vec{x}), \quad (7.10)$$

де y_o – істинне невідоме значення виходу системи; $\vec{x} \in \mathbb{R}^n$ – вектор вхідних змінних; $\vec{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_m)^T$ – вектор невідомих параметрів; $\vec{\varphi}^T(\vec{x}) = (\varphi_1(\vec{x}), \dots, \varphi_m(\vec{x}))^T$ – вектор відомих базисних функцій.

Гіпотеза 2. Результати експерименту представлені у вигляді матриці X значень вхідних змінних і відповідних інтервальних значень вихідної змінної y :

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} \dots x_{1n} \\ \vdots \\ x_{i1} \dots x_{in} \\ \vdots \\ x_{N1} \dots x_{Nn} \end{pmatrix}; [\vec{Y}] = \begin{pmatrix} [y_1^-; y_1^+] \\ \vdots \\ [y_i^-; y_i^+] \\ \vdots \\ [y_N^-; y_N^+] \end{pmatrix}. \quad (7.11)$$

Припускають, що в довільному i -у спостереженні істинне значення виходу $y_{oi} = \vec{\varphi}^T(\vec{x}_i) \cdot \vec{\beta}$ належить інтервалу $[y_i^-, y_i^+]$, тобто $y_i^- \leq y_{oi} \leq y_i^+$.

II. Знаходження множини оцінок параметрів моделі.

Завданням аналізу інтервальних даних є оцінювання невідомого вектора $\vec{\beta}$ так, щоб значення функції $y = \vec{\varphi}^T(\vec{x}) \cdot \vec{\beta}$ в точках експерименту належали відповідним інтервалам виходу. Якщо оцінка \vec{b} вектора $\vec{\beta}$ існує, то одержану функцію $\hat{y}(\vec{x}) = \vec{\varphi}^T(\vec{x}) \cdot \vec{b}$ називатимемо моделлю статичної системи.

Згідно сформульованих гіпотез, шуканий вектор \vec{b} повинен задовольняти таку систему N нерівностей з m невідомими:

$$\begin{cases} y_1^- \leq b_1 \varphi_1(\vec{x}_1) + \dots + b_m \varphi_m(\vec{x}_1) \leq y_1^+; \\ \vdots \\ y_i^- \leq b_1 \varphi_1(\vec{x}_i) + \dots + b_m \varphi_m(\vec{x}_i) \leq y_i^+; \\ \vdots \\ y_N^- \leq b_1 \varphi_1(\vec{x}_N) + \dots + b_m \varphi_m(\vec{x}_N) \leq y_N^+; \end{cases} \quad (7.12)$$

Оскільки кожна i -та нерівність у системі (7.12) забезпечує належність значення функції $\hat{y}(\vec{x})$ в i -тій точці експерименту, відповідному i -тому інтервалу виходу, то одночасне виконання умов, заданих нерівностями системи, означає існування розв’язку задачі, тобто “проходження” функції $y(\vec{x})$ через усі інтервали.

Розглянемо деякі важливі властивості системи (7.12) та її розв’язків. у працях.

Система (7.12) є системою N лінійних нерівностей відносно m невідомих b_1, \dots, b_m .

Нелінійність функцій $\varphi_j(\bar{x}_i)$ в (7.12) не суперечить попередньому твердженню, тому, що при відомому аргументі \bar{x}_i вони стають відомими коефіцієнтами.

Якщо згадані коефіцієнти позначити через $\phi_{ij} = \varphi_j(\bar{x}_i)$, то систему (7.12) можна переписати у такому вигляді:

$$\begin{cases} y_1^- \leq \phi_{11}b_1 + \dots + \phi_{1m}b_m \leq y_1^+ \\ \vdots \\ y_N^- \leq \phi_{N1}b_1 + \dots + \phi_{Nm}b_m \leq y_N^+, \end{cases}$$

звідки очевидна її лінійність. В майбутньому нам зручно буде розглядати систему (1.24) в матричному вигляді

$$\bar{Y}^- \leq F \cdot \bar{b} \leq \bar{Y}^+, \quad (7.13)$$

де $\bar{Y}^- = \{y_i^-, i=1, \dots, N\}$, $\bar{Y}^+ = \{y_i^+, i=1, \dots, N\}$ – вектори, складені із верхніх та нижніх меж інтервалів $[y_i^-, y_i^+]$, відповідно;

$F = \{\phi_{ij}, i=1, N, j=1, m\}$ – відома матриця значень базисних функцій.

Система (7.13) може не мати жодного розв'язку, тобто бути несумісною або мати багато розв'язків.

Стосовно задач аналізу інтервальних даних, несумісність системи (7.13) означає, що не виконуються припущення методу, тобто або невірно задано вигляд функції (7.10), або невірно визначені інтервали $[y_i^-, y_i^+]$. Обидва порушення гіпотез не забезпечують належність значень функції $\hat{y}(\bar{x})$ в точках експерименту до відповідних інтервалів виходу.

Нехай система (7.13) є сумісною. Позначимо через Ω множину її розв'язків, тобто

$$\Omega = \{\bar{b} \in R^m \mid \bar{Y}^- \leq F \cdot \bar{b} \leq \bar{Y}^+\} \quad (7.14)$$

Наведемо основні властивості множини оцінок.

1. У просторі параметрів β_1, \dots, β_m множина Ω є опуклий многогранник. Це означає, що довільна точка множини Ω є розв'язком системи (7.13).

2. Довільний розв'язок $\bar{b} \in \Omega$ системи породжує модель $\hat{y}(\bar{x}) = \bar{\varphi}^T(\bar{x}) \cdot \bar{b}$, що “проходить” через усі інтервали $[y_i^-, y_i^+]$, яку надалі називатимемо інтервальною моделлю (статичної системи).

3. Множина розв'язків Ω породжує множину рівнозначних (з точки зору наявної інтервальної невизначеності) інтервальних моделей, кожна з яких задовольняє умовам задачі. При цьому, всі інтервальні моделі знаходяться у коридорі:

$$[y(x)] = [y^-(x); y^+(x)], \quad (7.15)$$

де $y^-(\bar{x}) = \min_{\bar{b} \in \Omega} (\bar{\varphi}^T(\bar{x}) \cdot \bar{b})$ та $y^+(\bar{x}) = \max_{\bar{b} \in \Omega} (\bar{\varphi}^T(\bar{x}) \cdot \bar{b})$ – нижня та верхня межі функціонального коридору.

4. Істинний невідомий вектор $\vec{\beta}$ є одним із розв'язків системи (7.13), тобто $\vec{\beta} \in \Omega$. Тому можна стверджувати, що довільна точка множини Ω може бути істинним вектором параметрів. Ця властивість множини розв'язків Ω дозволяє трактувати її як множину можливих значень невідомих параметрів β_1, \dots, β_m .

III. Аналіз точності оцінок параметрів моделі.

Точність оцінок параметрів визначається розмірами області параметрів. Чим “ширша” множина Ω , тим більша невизначеність відносно істинних параметрів статичної системи.

Розмір множини Ω характеризується діаметром d , який визначається як відстань між двома найбільш віддаленими точками множини:

$$d = \max_{\bar{b}_p, \bar{b}_s} \|\bar{b}_p - \bar{b}_s\|, \quad (7.16)$$

де \vec{b}_p, \vec{b}_s – відповідні вершини області Ω .

Діаметр множини Ω тісно пов'язаний з матрицею F системи (7.13). Зокрема, якщо кількість різних точок \vec{x}_i спостережень у матриці F буде менша від кількості невідомих параметрів m , то множина Ω буде “розірвана”. Тобто, якщо $\text{rang}(F) < m$, то $d \rightarrow \infty$. З іншого боку, якщо $\text{rang}(F) = m$, то діаметр d обмежений.

Наведені математичні властивості множини Ω дозволяють перейти до більш детального розгляду методу, який варто розпочати із найпростішого випадку, що дозволяє графічну ілюстрацію.

Приклад 1.

Нехай кількість невідомих коефіцієнтів у рівнянні (7.10) дорівнює 2. У цьому випадку система (7.12) спрощується і набуває такого вигляду:

$$y_i^- \leq \phi_{i1}b_1 + \dots + \phi_{i2}b_2 \leq y_i^+, i=1, \dots, N \quad (7.17)$$

Кожна нерівність системи на площині b_1, b_2 задає “смугу”, обмежену двома паралельними, що відповідають межах інтервалів (рисунок 7.1).

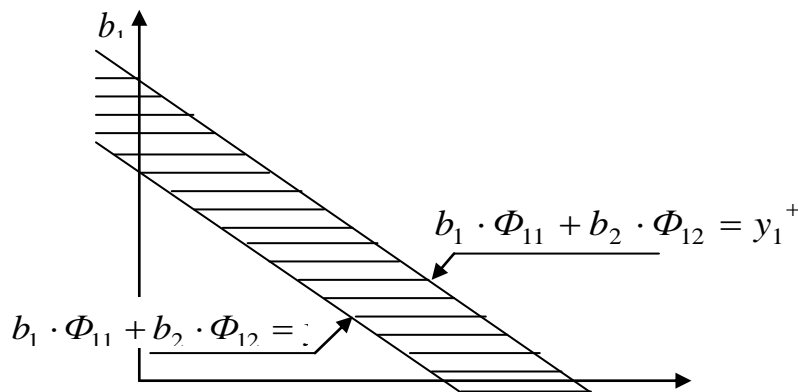


Рис.7.1. Зображення розв’язків рівняння інтервальної системи b_2 просторі параметрів.

Сукупність N нерівностей, тобто перетин усіх “смуг”, утворює шукану множину Ω розв’язків системи (7.17), зображену на рис.7.2 для $N=3$. Координати вершин Ω можуть бути визначені графічно або аналітично, шляхом розв’язування системи лінійних рівнянь. Наприклад, координати вершини \vec{b}_4 можна знайти як розв’язок системи двох лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} \phi_{11}b_1 + \phi_{12}b_2 = y_1^+; \\ \phi_{21}b_1 + \phi_{22}b_2 = y_2^-, \end{cases}$$

Порівняно простий випадок $m=2$ добре ілюструє загальні властивості множини Ω можливих значень істинних параметрів β_1, β_2 .

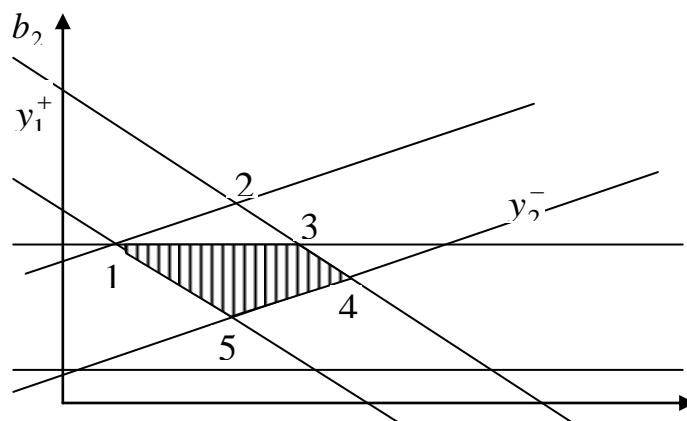


Рис.7.2. Область розв’язків системи (7.13) для $N=3$.

На рисунку 7.1 зображена множина Ω , діаметр якої дорівнює нескінченості, а рисунок 7.2 ілюструє опуклість множини Ω , структуру і характер впливу на діаметр множини додаткових спостережень. Внутрішню точку \vec{b} множини Ω можна знайти як центр діагоналі, що з'єднує відповідні вершини, тобто: $\vec{b} = 0,5 \cdot (\vec{b}_p + \vec{b}_s)$.

Приклад 2. ($N=m$).

Зупинимося на аналізі цього випадку експерименту, який називається насиченим.

В насиченому експерименті, тобто у випадку співпадіння кількості спостережень N в експерименті з кількістю невідомих параметрів m , матриця F системи (7.13) буде квадратною ($m \times N$). Якщо визначник матриці відмінний від нуля, то можна отримати матрицю F^{-1} , обернену до F і, відповідно, розв'язок такої системи лінійних алгебраїчних рівнянь :

$$F \cdot \vec{b}_s = \vec{Y}_s, \tag{7.18}$$

де \vec{Y}_s – вектор, складений з межових значень інтервалів $[y_i^-, y_i^+]$, наприклад, він може мати такий вигляд $\vec{Y}_s = (y_1^+, y_2^-, y_3^+, \dots, y_N^-)$

Запишемо розв'язок цієї системи у такому вигляді:

$$\vec{b}_s = F^{-1} \cdot \vec{Y}_s. \tag{7.19}$$

Вектор \vec{b}_s є однією із вершин многогранника Ω , утвореною перетином відповідних площин, заданих нерівностями (інтервальними рівняннями) системи (7.13).

Аналіз можливих комбінацій межових значень інтервалів виходу об'єкта, дозволив побудувати таблицю 7.1, з якої видно, що загальна кількість розв'язків \vec{b}_s складає $R = 2^m$.

Таблиця 7.1

Комбінації межових значень інтервалів

\vec{Y}_1	\vec{Y}_2	...	\vec{Y}_{m+1}	\vec{Y}_{m+2}	...	\vec{Y}_{2m+1}	...	\vec{Y}_s	...	\vec{Y}_R
y_1^+	y_1^-	...	y_1^+	y_1^-	...	y_1^+	...	y_1^+	...	y_1^-
y_2^+	y_2^+	...	y_2^+	y_2^-	...	y_2^+	...	y_2^-	...	y_2^-
y_3^+	y_3^+	...	y_3^+	y_3^+	...	y_3^+	...	y_3^-	...	y_3^-
...
y_{m-1}^+	y_{m-1}^+	...	y_{m-1}^+	y_{m-1}^+	...	y_{m-1}^-	...	y_{m-1}^-	...	y_{m-1}^-
y_m^+	y_m^+	...	y_m^-	y_m^-	...	y_m^-	...	y_m^-	...	y_m^-

Для даного випадку важливим є твердження: “При $m = N$ множина Ω є симетричним опуклим многогранником з 2^m кількістю вершин, які визначаються за формулою (7.19)”. На рис.7.3 зображений многогранник Ω для $m = 2$ і $m = 3$.

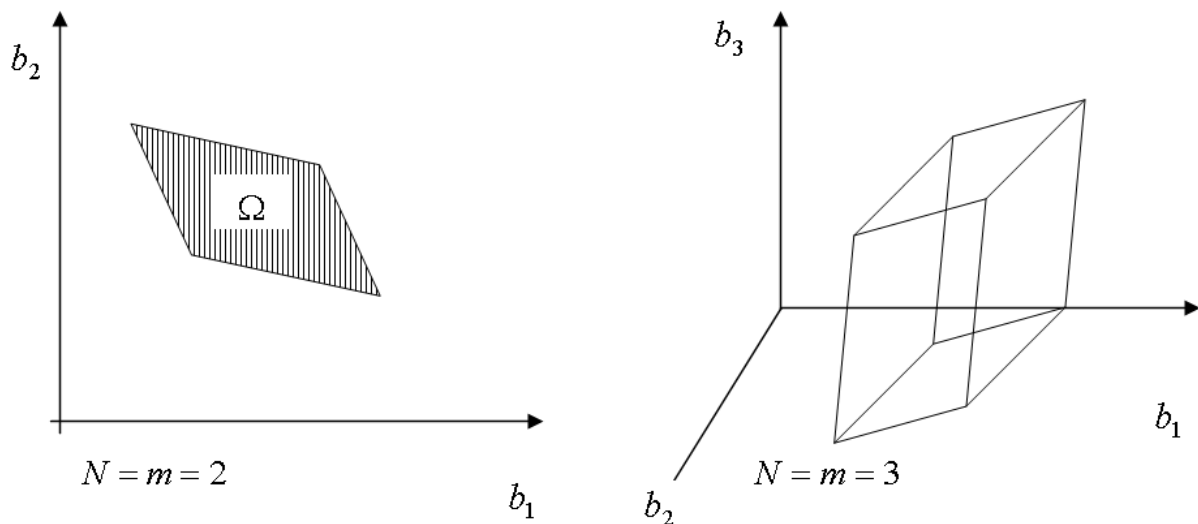


Рис.7.3. Многогранник Ω для $N=m=2$ і $N=m=3$.

Відомо, що довільний відрізок, який з'єднує вершини \vec{b}_p і \vec{b}_s многогранника, називається його діагоналлю.

При $m = N$ перетин головних діагоналей многогранника Ω збігається з його центром ваги $\vec{\bar{b}}$, який визначається за формулою

$$\vec{\bar{b}} = \frac{1}{2^m} \sum_{s=1}^{2^m} \vec{b}_s = F^{-1} \cdot \vec{\bar{Y}}, \quad (7.20)$$

де $\vec{\bar{Y}}$ – вектор є середнім арифметичним усіх векторів складених з межових значень, а його компоненти – середні інтервальні значення $\bar{y}_i = (y_i^+ + y_i^-) / 2$, $i = 1, \dots, m$, тобто

$$\vec{\bar{Y}} = \frac{1}{2^m} \cdot \left(\sum_{s=1}^{2^m} \vec{Y}_s \right) = (\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_m)^T.$$

Центр ваги множини Ω є одночасно МНК-оцінкою, обчисленою за середньо - інтервальними значеннями \bar{y}_i . Це безпосередньо випливає з формули (1.5), із урахуванням, що при $m = N$ справедливе співвідношення $(F^T F)^{-1} F^T = F^{-1}$, із заміною вектора \vec{Y} на $\vec{\bar{Y}}$.

Кожна вершина многогранника $\vec{b}_s \in \Omega$ породжує інтервальну модель $\hat{y} = \vec{\varphi}^T(\vec{x}) \cdot \vec{b}_s$, яка проходить через межові точки інтервальних спостережень, як це зображено на рисунку 7.4 для лінійної моделі при $m = N = 2$.

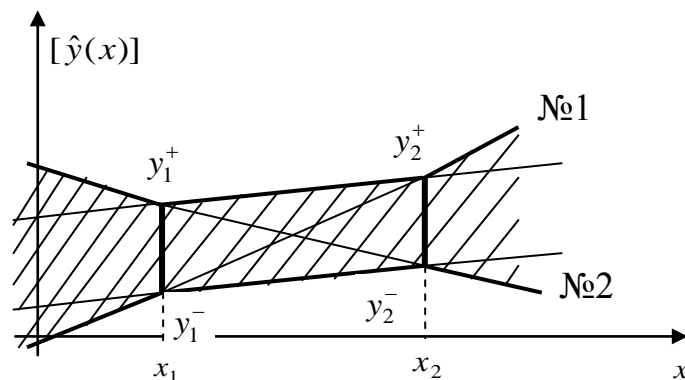


Рис.7.4. Відображення вершин многогранника параметрів у просторі інтервальних спостережень.

Зображені прямі відповідають ситуаціям, коли, пряма №1 проходить через точки (x_1, y_1^-) , (x_2, y_2^+) , а пряма №2 - через точки (x_1, y_1^+) , (x_2, y_2^-) і т.д. Заштрихований коридор описує всю множину прямих, які можуть бути проведені в межах двох інтервалів.

Зазначимо, що вершини \vec{b}_s многогранника Ω , та його центр ваги \vec{b} знаходять шляхом розв'язування квадратної системи лінійних рівнянь з однією і тією самою не виродженою матрицею F і різними векторами вільних членів. З цією метою можуть бути використані відомі методи та алгоритми лінійної алгебри.

IV. Аналіз точності інтервальної моделі.

Властивості множини Ω розв'язків лінійної системи інтервальних рівнянь безпосередньо визначають властивості інтервальних моделей статичних систем та меж функціонального коридору, побудованих на основі цих розв'язків.

Точність інтервальної моделі є її основною характеристикою. Оцінювання точності вимагає певних обчислювальних витрат. Розглянемо точність прогнозування моделі в точці, тобто при фіксованому наборі входів \vec{x} .

Під прогнозуванням інтервальної моделі, будемо розуміти розрахунок виходу системи $\hat{y}(\vec{x})$ при заданому наборі входів \vec{x} , поза експериментальними точками на основі яких будувалась модель, але в межах області експерименту χ . Основною характеристикою точності інтервальної моделі є похибка прогнозування, яка задається різницею меж коридору (7.15):

$$\Delta_{y(\vec{x})} = \max_{\vec{b} \in \Omega} (\vec{\varphi}^T(\vec{x}) \cdot \vec{b}) - \min_{\vec{b} \in \Omega} (\vec{\varphi}^T(\vec{x}) \cdot \vec{b})$$

Як впливає із наведеної формули, для визначення похибки прогнозування $\Delta_{y(\vec{x})}$ у фіксованій точці \vec{x} необхідно розв'язати дві задачі лінійного програмування

$$\vec{\varphi}^T(\vec{x}) \cdot \vec{b} \xrightarrow{\vec{b} \in \Omega} \min, \vec{\varphi}^T(\vec{x}) \cdot \vec{b} \xrightarrow{\vec{b} \in \Omega} \max,$$

розв'язки яких знаходяться у вершинах многогранника Ω . Із урахуванням викладеного, вираз для знаходження похибки прогнозування $\Delta_{y(\vec{x})}$ у фіксованій точці \vec{x} набуває такого вигляду:

$$\Delta_{y(\vec{x})} = \max_{\vec{b}_p, \vec{b}_s \in \Omega} (\vec{\varphi}^T(\vec{x}) \cdot (\vec{b}_p - \vec{b}_s)), \vec{x} \in \chi \quad (7.21)$$

де \vec{b}_p, \vec{b}_s – вершини опуклого многогранника (множини) Ω .

Із виразу (7.21) видно, що значення похибки прогнозування залежить від розмірів множини Ω . Зокрема, значення $\Delta_{y(\vec{x})}$ в заданій точці \vec{x} тим менше, чим менша відстань між вершинами множини Ω . Якщо $\vec{b}_p = \vec{b}_s$ для всіх $p \neq s$, тобто множина Ω стискується до точки, то значення похибки $\Delta_{y(\vec{x})}$ для всіх точок \vec{x} дорівнює нулю.

Зменшення розмірів множини Ω , а відповідно, і зменшення похибки прогнозування моделі можливо досягнути шляхом оптимального вибору точок експерименту та зменшенням інтервальних похибок спостережень у вибраних точках.

Для загального випадку показано, що функція (7.21) є кусково-неперервною. Це зумовлено тим, що для різних фіксованих значень \vec{x} похибка прогнозування у формулі (7.21) може визначатись різними векторами $\vec{b}_p - \vec{b}_s$, тобто різними парами вершин многогранника Ω .

Важливим є аналіз властивостей лінійної по вхідних змінних інтервальної моделі $y_0(\vec{x}) = \vec{x}^T \cdot \vec{\beta}$. Формула (7.21) у цьому випадку набуває такого вигляду:

$$\Delta_{y(\vec{x})} = \min_{\vec{b}_p, \vec{b}_s \in \Omega} (\vec{x}^T \cdot (\vec{b}_p - \vec{b}_s)), \vec{x} \in \chi \quad (7.22)$$

У випадку нормування незалежних змінних у такий спосіб, щоб центр експерименту χ співпадав

з нульовою точкою $\vec{x}_0 = (0, \dots, 0)^T$, функція $\Delta_{y(\vec{x})}$ буде симетричною відносно центру \vec{x}_0 , а її максимальне значення досягається на межі області χ . Якщо область експерименту χ задати як n -вимірну кулю, радіусом ρ і з центром в точці $\vec{x}_0 = (0, \dots, 0)^T$

$$\vec{x}^T \cdot \vec{x} \leq \rho^2, \quad (7.23)$$

то максимальна на області χ похибка прогнозування лінійної інтервальної моделі обчислюватиметься за формулою:

$$\max_{\vec{x} \in \chi} (\Delta_{y(\vec{x})}) = \rho \cdot \left\| \vec{b}_p^o - \vec{b}_s^o \right\|, \quad (7.24)$$

де $\left\| \vec{b}_p^o - \vec{b}_s^o \right\| = \left\| \vec{b}_p - \vec{b}_s \right\| \xrightarrow{\vec{b}_p, \vec{b}_s \in \Omega} \max$ - визначає в просторі параметрів довжину максимальної діагоналі многогранника Ω .

Із формули (7.24) випливає, що для області планування експерименту, заданої у вигляді кулі радіусом ρ максимальне значення похибки прогнозування лінійної моделі дорівнює довжині максимальної діагоналі (діаметру Ω), збільшеній у ρ раз.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що функція похибки прогнозування інтервальних моделей, побудованих на основі множини розв'язків системи інтервальних рівнянь (7.12), в загальному випадку є кусковою, що суттєво збільшує обчислювальні витрати на визначення коридору прогнозування. Своєю чергою це спонукає до розробки та застосування методів локалізації розв'язків системи (7.12), що забезпечують аналітичність задання функціональних меж коридору інтервальних моделей.

V. Перевірка гіпотез.

На цьому етапі перевіряється адекватність моделі. Адекватною є модель у якій структура при відомих інтервальних даних забезпечує сумісність системи (7.10).

Аналогічним чином у випадку справдження гіпотези про адекватність моделі проводиться перевірка належності інтервалам виходу істинного значення, тобто аналізується сумісність системи (7.10). Якщо ця гіпотеза порушується, то необхідно розширити інтервали для вихідної змінної з метою забезпечення сумісності системи (7.10).

7.5. Планування насичених експериментів у випадку інтервального представлення вихідних змінних моделей статичних систем

При розгляді основних положень методів аналізу інтервальних даних висувалося припущення, що у розпорядженні дослідника є такі експериментальні дані, які забезпечують повний ранг ($\text{rang} F = m$) матриці F розміром $(N \times m)$, зокрема, кількість спостережень N у експерименті не менше від кількості невідомих параметрів m . При цьому не досліджувалося питання про те, яким чином одержані ці дані. Застосування методів оптимального планування експерименту в задачах ідентифікації дозволяє підвищити точність математичної моделі. Зауважимо, що в цьому випадку задачі називаються активною ідентифікацією.

Переважно розрізняють планування апріорного експерименту і планування послідовного (динамічного) експерименту. У першому випадку план усього експерименту складається до його проведення, у другому – програма реалізації експерименту послідовно уточнюється в міру одержання і залежно від результатів опрацювання результатів попередніх спостережень.

Розглянемо можливості планування оптимального апріорного експерименту з метою побудови моделі статичної системи в умовах інтервальних похибок. При цьому припустимо:

- модель статичної системи задана лінійно-параметричним рівнянням відомої структури (7.10) і є можливість змінювати вхідні змінні x_1, \dots, x_n в деякій обмеженій області χ , тобто $\vec{x} \in \chi$;
- шуканий план експерименту включає $N = m$ дослідів, тобто є насиченим

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} \dots x_{1n} \\ \vdots \quad \dots \quad \vdots \\ x_{m1} \dots x_{mn} \end{pmatrix}$$

– для довільного $\bar{x} \in \mathcal{X}$ задано інформацію про абсолютну інтервальну похибку $\Delta(\bar{x}) = 0,5 \cdot (y^+(\bar{x}) - y^-(\bar{x}))$. При цьому може бути задана або функція $\Delta(\bar{x})$ на \mathcal{X} , або відомо, що інтервальна похибка є постійною, тобто $\Delta(\bar{x}) = \Delta, \forall \bar{x}$.

Задача полягає у знаходженні апріорного, насиченого плану X , який забезпечує мінімально можливі розміри многогранника Ω , що є областю можливих значень параметрів β_1, \dots, β_m .

Враховуючи, що кожній матриці плану експерименту X відповідає квадратна не вироджена матриця базисних функцій F із системи (7.13), задачу планування зручно трактувати як задачу знаходження матриці F .

Очевидно, що апріорний план експерименту неможливо побудувати, поки не визначено, який зміст вкладається в поняття оптимальності. Тому, розглянемо питання вибору критеріїв оптимальності планів експерименту.

З постановки задачі випливає, що оптимальний експеримент на відміну від неоптимального, повинен забезпечити більшу точність оцінок параметрів b_1, \dots, b_m , тобто менший розмір многогранника Ω .

Очевидно, що до проведення експерименту не можна обчислити вершини \vec{b}_s , оскільки вектори \vec{Y}^-, \vec{Y}^+ інтервальних спостережень виходу є невідомими, і отже, не можливо визначити вектор \vec{Y}_s . Проте, ця обставина не заважає апріорі визначити розміри многогранника Ω при деякому фіксованому плані і, зокрема, довжину його діагоналей між парами вершин \vec{b}_p, \vec{b}_s :

$$l_{ps}^2 = \|\vec{b}_p - \vec{b}_s\|^2 = (\vec{b}_p - \vec{b}_s)^T \cdot (\vec{b}_p - \vec{b}_s) = (\vec{Y}_p - \vec{Y}_s)^T \cdot (F^{-1})^T \cdot F^{-1} \cdot (\vec{Y}_p - \vec{Y}_s).$$

Приймаючи до уваги, що вектори \vec{Y}_p, \vec{Y}_s утворюються як можливі комбінації меж інтервальних даних $y_i^-, y_i^+, i=1, \dots, m$ (див. табл. 7.3), то компоненти різниці $\vec{Y}_p - \vec{Y}_s$ можуть набувати одного з двох значень $2\Delta_i$ чи $-2\Delta_i$ – якщо вершини \vec{b}_p, \vec{b}_s утворюють головну діагональ (що не належить ні одній із граней) многогранника Ω . Кількість головних діагоналей дорівнює 2^{m-1} .

Використовуючи вираз для довжини l довільної діагоналі, можна отримати простий вираз для квадрату довжини p -ї головної діагоналі

$$l_p^2 = 4 \cdot \bar{\Delta}_p^T \cdot (F \cdot F^T)^{-1} \cdot \bar{\Delta}_p, p=1, \dots, 2^{m-1},$$

де $F \cdot F^T$ – матриця, яку надалі називатимемо інформаційною; $\bar{\Delta}_p^T = (\pm\Delta_1^p, \dots, \pm\Delta_i^p, \dots, \pm\Delta_m^p)$ – вектор, компонентами якого є відповідні інтервальні похибки Δ_i , із додатними або від'ємними знаками.

Користуючись аналогією між плануванням регресійних та інтервальних експериментів введено кількісні критерії, що характеризують розміри многогранника Ω , такі як квадрат об'єму V , суму квадратів довжин його діагоналей, квадрат довжини максимальної діагоналі і які визначаються формулами, відповідно

$$I_D = V^2(\Omega); I_A = \sum_{p=1}^{2^{m-1}} l_p^2; I_E = \max_p l_p^2.$$

Вирази, що зв'язують вказані критерії з інформаційною матрицею мають такий вигляд

$$I_D = 4^m \cdot \det(E \cdot (F \cdot F^T)^{-1} \cdot E) = 4^m \cdot \left(\prod_{i=1}^m \Delta_i^2 \right) \cdot \det(F \cdot F^T)^{-1}, \quad (7.25)$$

$$I_A = 2^{m+1} \cdot Sp(E \cdot (F \cdot F^T)^{-1} \cdot E), \quad (7.26)$$

$$I_E = \max_p 4 \cdot \bar{\Delta}_p^T \cdot (F \cdot F^T)^{-1} \cdot \bar{\Delta}_p, \quad (7.27)$$

де $E = \text{diag}(\Delta_1, \dots, \Delta_i, \dots, \Delta_m)$ – діагональна матриця інтервальних похибок; $Sp(\cdot)$ – означає слід матриці, який дорівнює сумі її діагональних елементів.

Умови I_D -, I_A -, I_E -оптимальності планів інтервального експерименту записуються так:

$$\det(E \cdot (F \cdot F^T)^{-1} \cdot E^T) \xrightarrow{F} \min, \bar{x}_i \in \chi;$$

$$Sp(E \cdot (F \cdot F^T)^{-1} \cdot E^T) \xrightarrow{F} \min, \bar{x}_i \in \chi; \quad (7.28)$$

$$\max_p \bar{\Delta}_p^T \cdot (F \cdot F^T)^{-1} \cdot \bar{\Delta}_p \xrightarrow{F} \min. \quad (7.29)$$

Зазначимо, що у розглянутих формулах виключені постійні множники, які не впливають на шуканий оптимальний план.

Наведені критерії дозволили, з одного боку, визначити поняття оптимального плану при аналізі інтервальних даних, а з другого, – отримати співвідношення між інтервальними і регресійними оптимальними планами.

Розглянемо ці співвідношення детальніше.

Коли інтервальна похибка експерименту є постійною, тобто $\Delta(\bar{x}) = \Delta \forall \bar{x} \in \chi$, тоді матриця E у формулах (7.29) стає скалярною ($E = \Delta \cdot I$) і перестає впливати на результати мінімізації.

Порівнюючи формули (7.29) для цього випадку з формулами (7.9), відповідно, для D - і A -критеріїв регресійного експерименту, виявляється їх збіг. Це означає, що I_D - і I_A -оптимальні плани насиченого інтервального експерименту еквівалентні D - і A -оптимальним регресійним планам, побудованим для відповідної моделі (7.10).

Показана еквівалентність планів дозволяє застосовувати результати, отримані для D - і A -оптимальних регресійних планів при побудові I_D - і I_A -оптимальних планів інтервального експерименту. Зокрема, можуть бути використані наявні каталоги насичених D - і A -оптимальних планів для поліноміальних моделей першого та другого порядку.

Між I_E -оптимальністю та E -оптимальністю регресійних експериментів подібної еквівалентності не встановлено, хоча вони і є близькими за фізичним змістом, а саме: E -оптимальний план мінімізує максимальну вісь довірчого еліпсоїда оцінок параметрів регресійної моделі і I_E -оптимальний план мінімізує максимальну діагональ многогранника Ω .

Не менш важливими є плани, які дозволяють зменшити коридор інтервальних моделей, заданий формулою (7.15). Ширину функціонального коридору $\Delta_{y(\bar{x})}$, якою визначається точність інтервальної моделі можна обчислити як різницю його границь

$$\Delta_{y(\bar{x})} = \bar{y}^+(\bar{x}) - \bar{y}^-(\bar{x}). \quad (7.30)$$

Це в свою чергу дозволило ввести показники I_Q , I_G та критерії I_Q -, I_G -оптимальності планів

$$I_Q = \int_{\chi} \Delta_{y(\bar{x})} d(\bar{x}), \quad I_G = \max_{\bar{x} \in \chi} \Delta_{y(\bar{x})} \quad (7.31)$$

Задача знаходження I_Q - та I_G -оптимальних планів є надзвичайно складною, через кусочність меж функціонального коридору і, відповідно, функції $\Delta_{y(\bar{x})}$. Наближені до I_Q - та I_G -оптимальних планів можна знайти, використовуючи таку лему: “Навколо області Ω можна описати еліпсоїд, який пройде через усі її вершини, заданий рівнянням

$$Q_m = \{\bar{b} \in R^m \mid (\bar{b} - \bar{b})^T \cdot F^T \cdot E^{-2} \cdot F \cdot (\bar{b} - \bar{b}) = m\}. \quad (7.32)$$

Із леми витікає, що верхню оцінку $\Delta_{y(\bar{x})} \Big|_{\bar{b} \in Q_m}$ функції $\Delta_{y(\bar{x})}$ похибки прогнозування інтервальної моделі можна обчислити за такою формулою

$$\Delta_{y(\bar{x})} \Big|_{\bar{b} \in Q_m} = 2 \cdot \sqrt{\bar{\varphi}^T(\bar{x}) \cdot (F^T \cdot E^{-2} \cdot F)^{-1} \cdot \bar{\varphi}(\bar{x}) \cdot m} \quad (7.33)$$

Отже, задачі знаходження наближених до I_Q - та I_G -оптимальних планів записують, відповідно, так:

$$\int_{\chi} \Delta_{y(\bar{x})} \Big|_{\bar{b} \in Q_m} d(\bar{x}) \xrightarrow{F} \min ; \max_{\bar{x} \in \chi} \Delta_{y(\bar{x})} \Big|_{\bar{b} \in Q_m} \xrightarrow{F} \min .$$

Дані задачі розв'язуються методами математичного програмування і частково спрощуються, коли область експерименту χ є кубом чи сферою.

Розглянуті критерії можна використовувати виключно для планування оптимальних насичених експериментів ($N = m$). На практиці кількість дослідів може перевищувати кількість невідомих параметрів. В цих умовах побудова апіорних оптимальних планів без врахування додаткових властивостей інтервальних похибок не можлива. Тим часом залишається можливість побудови процедур послідовного планування. При послідовному плануванні експерименту на k -тому кроці процедури шукається не вся матриця F , а тільки її одна стрічка (інші $N \geq m$ стрічок матриці є відомими), тобто оптимальний за визначеним критерієм набір значень входів \bar{x}_k .

7.6. Методологічні аспекти структурної ідентифікації моделей систем.

Синтезу задовільної структури моделей систем в межах стохастичного підходу присвячені чисельні публікації. Розроблені різні методи стосовно класу поліноміальних моделей, серед яких слід виділити метод повного перебору усіх можливих структур поліноміальних моделей відомого степеня, методи послідовного виключення параметрів з поліноміальної моделі, послідовного “нарощування” структури поліноміальної моделі (метод включення) і т.д. В межах прийнятої в регресійному аналізі моделі випадкової, нормально розподіленої похибки, ці методи базуються на статистичних критеріях Стюдента, Пірсона, чи Фішера. Порушення гіпотези про “нормальність” автоматично руйнує теоретичні обґрунтування використання вказаних критеріїв. Більш ефективними у цьому плані є алгоритми методу групового урахування аргументів. Однак, для оцінки “якості” побудованої моделі, в цих методах також використовуються статистичні оцінки.

За умов обмежених по амплітуді похибок експериментальних даних з невідомими законами розподілу застосування стохастичного підходу для задач структурної ідентифікації стає неможливим. В цих умовах найбільш придатними є методи аналізу інтервальних даних.

При розв'язуванні задач структурної ідентифікації статичного системи необхідно знайти загальний вигляд функції

$$y_o = y(\bar{x}) \quad (4.1)$$

яка буде адекватною моделлю об'єкта, де y_o – істинне невідоме значення виходу системи; $\bar{x} \in R^n$ – вектор вхідних змінних; n – задає початкову фіксовану кількість вхідних змінних, яку необхідно встановити на основі результатів експерименту.

Для ідентифікації залежності $y(\bar{x})$ використовують результати експерименту, як і раніше представлені у вигляді початково заданої матриці X значень вхідних змінних і відповідних інтервальних значень вихідної змінної y (7.11).

У матриці X можливе повторення стрічок, що означатиме повторення спостережень при одних і тих же вхідних змінних. При цьому отримуватимемо вибірку інтервальних оцінок вихідної змінної $d_j = [y_j - \Delta; y_j + \Delta]$, $j = 1, \dots, N$. Припустимо, що ця вибірка є випадковою, але також включає обмежену не випадкову похибку спостережень. Тобто розглядаємо модель змішаної інтервальної похибки $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$, коли результати спостережень за вихідною змінною задаються у такому вигляді

$$y_i = y_{0i} + e_{1i} + e_{2i}, \quad (4.3)$$

де e_{1i} – не випадкова обмежена похибка з відомим діапазоном можливих значень $-\Delta_{1i} \leq e_{1i} \leq \Delta_{1i}$; e_{2i} – випадкова похибка, що має симетричний (у загальному випадку невідомий) розподіл на відомому інтервалі $[-\Delta_{2i}; \Delta_{2i}]$.

Наведена вище задача ідентифікації залежності $y(\vec{x})$, є достатньо складною і в загальному випадку для отримання її розв'язку необхідно розглянути додаткові умови на клас функцій $y(\vec{x})$. Переважно залежність $y(\vec{x})$ шукають серед лінійно-параметричних рівнянь у такому загальному вигляді:

$$y(\vec{x}) = \vec{\varphi}^T(\vec{x}) \cdot \vec{b}, \quad (4.4)$$

де $\vec{\varphi}^T(\vec{x})$ – вектор невідомих базисних функцій, відомого класу (наприклад, поліноміальні функції). Розмірність m цих векторів на початку процедури ідентифікації є заданою.

З врахуванням вище викладеного та співвідношень (7.11), (4.1), (4.4), задача структурної ідентифікації моделі “вхід-вихід” на основі інтервальних даних (7.11) зводиться до знаходження такої множини залежностей (4.4), які забезпечують умови сумісності інтервальної системи лінійних (відносно параметрів) алгебраїчних рівнянь (7.12).

Очевидно, що умови сумісності системи (7.12) можна забезпечити шляхом ускладнення структури моделі $y(\vec{x}) = \vec{\varphi}^T(\vec{x}) \cdot \vec{b}$ (збільшення кількості параметрів, входів, ступеня полінома).

При синтезі структури інтервальної моделі системи, важливим питанням є вибір критеріїв оптимальності. Розглянемо це питання детальніше.

З цією метою повернемося до системи нерівностей (7.12) і вважатимемо, що функція $y(\vec{x})$, яка задає структуру моделі шукається у класі поліномів. Відомо, що на скінченному наборі вузлів $\vec{x}_i (i=1, \dots, N)$, нарощуючи ступінь полінома, завжди можна знайти таку поліноміальну модель, яка задовольняє заданим інтервальним даним.

Нехай знайдена поліноміальна модель $y(\vec{x}, \vec{b})$ залежить від n змінних x_1, \dots, x_n , степені p і включає m параметрів b_1, \dots, b_m . Однак вона може виявитися надто складною для аналізу і прогнозування. Внаслідок цього виникає необхідність знаходження поліноміальної моделі максимально простої структури. У випадку наявності групи моделей із структурою однакової складності, перевагу надаватимемо тій моделі, яка забезпечує найменшу похибку прогнозування $\Delta_{y(\vec{x})}$, задану, наприклад, I_Q - та I_G - критеріями оптимальності планів інтервального експерименту. Залежно від особливостей використання моделі, в поняття “простоти” (складності) структури моделі може вкладатися різний зміст. Найбільш типовими ситуаціями у даному випадку є виконання однієї із таких вимог: мінімізація степені полінома $p \rightarrow \min$; мінімізація кількості входних змінних моделі $n \rightarrow \min$; мінімізація кількості параметрів поліноміальної моделі $m \rightarrow \min$, за умови забезпечення сумісності інтервальної системи лінійних алгебраїчних рівнянь (7.12).

Отже, для задач синтезу оптимальної структури, залежно від призначення та особливостей застосування інтервальної моделі статичної системи, заданої поліномом, необхідно використовувати одну чи декілька пар критеріїв: мінімізації степені полінома і похибки прогнозування; мінімізації кількості входних змінних моделі і похибки прогнозування; мінімізації кількості параметрів поліноміальної моделі і похибки прогнозування. При цьому необхідним є забезпечення сумісності системи (7.12).

У випадку поетапного зважування структур інтервальних моделей по критеріях вибраної пари, очевидно, пріоритетнішими будуть критерії, що мінімізують складність структури, оскільки критерій мінімуму похибки прогнозування інтервальної моделі вимагає значних обчислювальних витрат і на першому етапі, пов'язаному з оцінюванням великої кількості претендентів, його застосування є недоцільним.

Для знаходження оптимальної структури моделі можуть бути використані методи повного

перебору можливих структур, послідовного включення і виключення параметрів поліноміальної моделі. Однак, у даному випадку вони будуються на аналізі властивостей системи інтервальних рівнянь.

Суть методу повного перебору в нашому випадку полягає в тому, що складаються всі можливі поліноми, обмежені заданим числом n вхідних змінних і степеню p .

Кожний із можливих поліномів підставляємо в систему (7.12). Виділяємо ті поліноми, які задовольняють усі нерівності системи і, отже, задані умови точності. Серед них формуємо групу поліномів найпростішої, у розумінні вибраного критерію складності структури. На другому етапі, серед поліноміальних моделей найпростішої структури вибираємо модель з найменшою похибкою прогнозування.

Очевидно, що із зростанням p і n , на етапі вибору поліномів найпростішої структури, кількість можливих комбінацій суттєво зростає. Внаслідок цього, реалізацію методу повного перебору на практиці можна застосовувати тільки у окремих простих випадках, наприклад, коли вхідні змінні мають фізичний зміст і їхня кількість є достатньо малою.

Зауважимо, якщо вдалося знайти поліном, що наближує дані з необхідною точністю, то додавання до нього довільних членів втрачає зміст, оскільки найкращою є модель, що на множині усіх адекватних моделей є найпростішою. Внаслідок цього, економнішими виявляються методи, побудовані на послідовному включенні або виключенні параметрів поліноміальних моделей.

У методі послідовного виключення вважаємо, що вихідна поліноміальна модель $y(\vec{x}, \vec{b})$, яка задовольняє інтервальним даним, є задана. Структуру вихідної моделі можна встановити на основі попереднього аналізу даних чи виходячи із фізичних міркувань. Потім досліджуємо можливості спрощення цієї моделі, тобто виключення з неї окремих параметрів, спираючись на обраний критерій складності структури. Для виключення “сліпого” перебору необхідна цілеспрямована перевірка гіпотез відносно групи або окремих параметрів. При спрощенні початкової структури моделі $y(\vec{x}, \vec{b})$ досліджуємо можливість обнуління її окремих параметрів. Це пов'язано з перевіркою гіпотез інтервального аналізу у такому вигляді:

$$H_0 : b_k = 0; H_0 : \vec{b}_t = 0 \quad (4.6)$$

де \vec{b}_t - заданий підвектор вектора \vec{b} .

В межах інтервального підходу перевірка гіпотез (4.6) спрощується, а саме: гіпотеза H_0 приймається, якщо при обнулінні відповідних параметрів моделі, система інтервальних рівнянь (7.12) залишається сумісною.

Пояснимо головну ідею відбору претендентів на обнуління, на прикладі моделі, яка містить два параметри b_1, b_2 : $y(\vec{x}, \vec{b}) = b_1\varphi_1(\vec{x}) + b_2\varphi_2(\vec{x})$.

На рис. 7.5 наведено можливі варіанти розміщення множини розв'язків Ω системи (7.12) при її сумісності у площині $(b_1; b_2)$.

Аналізуючи рисунки, не важко виявити, що у випадку *a*) знаки параметрів є додатними $b_1 > 0$, $b_2 > 0$, а у випадку *б*) вони від'ємні, тобто $b_1 < 0$, $b_2 < 0$. Це означає, що гіпотеза рівності нулю принаймні одного параметра, виключається. В інших випадках можливе прийняття нульових гіпотез: $b_2 = 0$ - випадок *в*); $b_1 = 0$ - випадок *г*); $b_1 = 0$ або $b_2 = 0$ - випадок *д*); $b_1 = 0$ і $b_2 = 0$ - випадок *е*).

Розглянутий приклад дозволяє сформулювати два правила, які є справедливими для спільного m -вимірною випадку:

- якщо множина Ω не перетинає межі октантів простору b_1, \dots, b_m , то жоден параметр b_j не може бути обнулений;

- якщо множина Ω включає нульову точку (випадок *е*), то приймається гіпотеза $H_0 : \vec{b} = 0$, тобто всі параметри можуть бути замінені на нулі.

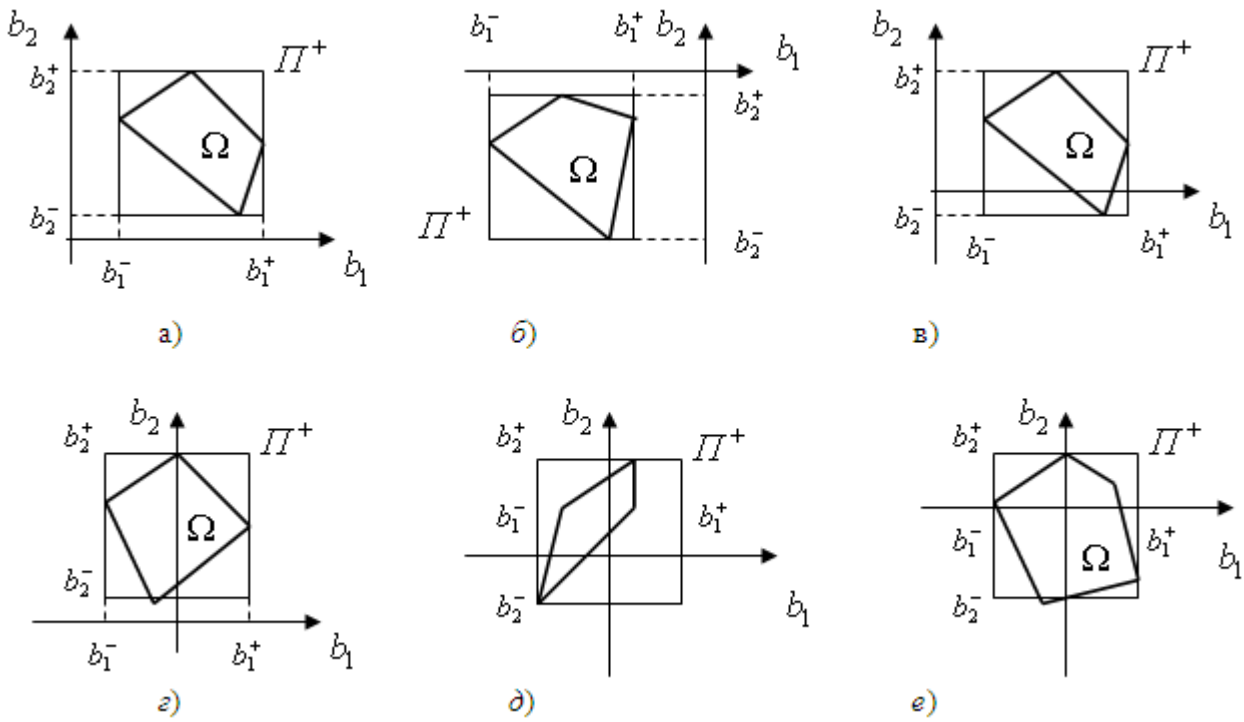


Рис.7.5. Варіанти розміщення множини розв'язків Ω .

В багатовимірному випадку таке наочне зображення, як на рис. 7.5, множини Ω є неможливим, що вимагає заміни її локалізаційною множиною. Найбільш придатною в даному випадку є інтервальна локалізація множини розв'язків Ω , тобто описаним m - вимірним прямокутним паралелепіпедом Π^+ . У багатовимірному випадку прямокутний паралелепіпед Π^+ можна задати через межі окремих параметрів b_k , тобто інтервальним вектором $[\vec{b}]$ з елементами $[b_k^-, b_k^+]$

$$\Pi^+ = \{\vec{b} \mid b_k^- \leq b_k \leq b_k^+, k = 1, \dots, m\},$$

$$\text{де } b_k^- = \min_{\vec{b} \in \Omega} b_k, b_k^+ = \max_{\vec{b} \in \Omega} b_k.$$

У цьому випадку наближеною оцінкою точності інтервальних моделей може бути об'єм локалізаційного паралелепіпеда

$$V(\Pi^+) = \prod_{k=1}^m (b_k^+ - b_k^-).$$

Із вище сформульованих правил витікає, що інтервальну модель системи $y(\vec{x}, \vec{b})$ не можна спростити, якщо межі усіх параметрів мають однакові знаки, а параметр b_k можна обнулити, якщо його межі b_k^-, b_k^+ мають різні знаки.

На основі цього правила можливе застосування методу послідовного виключення, коли відповідно до обраного критерію спрощення структури: мінімізації степені, кількості вхідних змінних чи кількості параметрів поліноміальної моделі, з початкової моделі виключаються параметри, межі яких мають різні знаки. При цьому, якщо відразу декілька параметрів є претендентами на обнуління, недоцільно прирівнювати їх до нуля одночасно, оскільки можлива ситуація несумісності системи інтервальних рівнянь, а після обнуління параметра необхідно заново провести аналіз інтервальних даних і встановити межі решти параметрів.

У методі послідовного включення нарощуємо поліноміальну модель, послідовно переходячи від найпростіших до складніших структур. При додаванні нових параметрів моделі, як і у методі послідовного виключення, користуємося обраним критерієм спрощення структури. Процес зупиняємо як тільки побудована модель задовольняє системі інтервальних рівнянь (4.5) і при цьому усі її

параметри є значущими.

Для зменшення кількості ітерацій процесу, найпростішу структуру слід вибрати виходячи із особливостей розподіленого об'єкта, для якого будується інтервальна модель.

Слід відмітити важливу особливість методів послідовного включення та виключення параметрів при синтезі найпростішої структури інтервальної моделі, а саме: найпростіша структура моделі не залежить від обраного методу локалізації і може бути встановлена на основі застосування найпростішого і найменш витратного з обчислювальної точки зору методу інтервальної локалізації параметрів моделі.

Використання вказаної особливості доцільно на другому етапі вибору оптимальної структури інтервальних моделей. Оскільки похибка прогнозування інтервальної моделі визначається розмірами множини локалізації параметрів, то серед сформованої на першому етапі групи поліноміальних моделей найпростішої структури вибираємо інтервальні моделі, отримані на основі локалізаційної множини у вигляді m - вимірного прямокутного паралелепіпеда Π^+ з мінімальним об'ємом $V(\Pi^+)$. Такий підхід дозволить уникнути складних процедур розрахунку значень I_Q - та I_G - критеріїв, що задають оцінки похибки прогнозування інтервальної моделі на області експерименту.

Контрольні запитання.

- 1 Основні задачі синтезу моделей “вхід-вихід” статичних систем на основі експериментальних даних.
- 2 Особливості стохастичного підходу.
- 3 Основні етапи регресійного аналізу.
- 4 Методологія теоретико-множинного, інтервального підходу.
- 5 Планування насичених експериментів у випадку інтервального представлення вихідних змінних моделей статичних систем.
- 6 Методологічні аспекти структурної ідентифікації моделей систем.

ТЕМА 8. СИСТЕМНІ АСПЕКТИ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

8.1 Прийняття рішень в умовах багатокритеріальності.

8.2 Емпіричні методи встановлення важливості критеріїв.

8.3 Прийняття рішень в умовах нечітко заданих критеріїв.

8.1. Прийняття рішень в умовах багатокритеріальності.

Всяка система володіє певними властивостями, які характеризуються набором показників, характеристик $\vec{q} = (q_1, \dots, q_n)^T$.

При дослідженні системи, її розвитку та організації управління, показники набувають конкретних значень, які визначаються прийнятими рішеннями. Забезпечення оптимальності прийнятих рішень вимагає попереднього формування множини альтернативних рішень $\vec{a} = (a_1, \dots, a_k)^T$.

При реалізації a_i – альтернативи із множини альтернатив, отримуємо систему із відповідними властивостями $\vec{q}(a_k) = (q_1(a_k), \dots, q_n(a_k))^T$.

Задача вибору оптимальної альтернативи за даних умов вимагає попереднього знаходження деякого відображення f – агрегатора, який кожній альтернативі ставить у відповідність деяке число:

$$E(a_k) = f(\vec{q}(a_k)).$$

Розглянемо основні підходи до побудови таких агрегаторів.

Найбільш поширеним підходом побудови агрегованого критерію є вибір серед сукупності характеристик однієї основної q_i . На основі цієї характеристики будується критерій максимізації (мінімізації)

$$E(a_k) = q_i(a_k) \longrightarrow \max_{a_k \in A} (\min) a_k.$$

Для решти показників задаються межі можливих їх значень $q_j > (<) q_j^0, \forall i \neq j$, де q_j^0 – деяке найменше значення для тих показників, які необхідно максимізувати або найбільше значення для тих критеріїв які необхідно мінімізувати.

Недоліком такого підходу є значне обмеження на зміну значень показників, що задаються в обмеженнях.

Наступний підхід побудови агрегованого критерію базується на згортці показників:

$$\text{адитивній } E(a_k) = \sum_{i=1}^n q_i(a_k) \cdot b_i \longrightarrow \max_{a_k \in A} (\min) a_k,$$

де b_i – певні вагові коефіцієнти,

$$\text{чи мультиплікативній } E(a_k) = \prod_{i=1}^n q_i^{\lambda_i} \longrightarrow \max_{a_k \in A} (\min) a_k,$$

де λ_i – ваговий коефіцієнт.

Недоліком розглянутого підходу є можливість необмеженої компенсації значень показників в сумі або в добутку.

Для виходу з цієї ситуації додатково до критеріїв згортки додають обмеження типу $q_j > (<) q_j^0, j=1, \dots, n$.

Особливістю наступного підходу побудови агрегованого критерію є те, що для даної системи гіпотетично знаходиться “ідеальна” альтернатива. В якості “ідеальної” альтернативи приймається та, яка забезпечує вектор значень показників $\vec{q}^0 = (q_1^0, \dots, q_n^0)^T$, де q_i^0 – найбільше значення для показників, які максимізуються, і найменше значення для показників, які мінімізуються. Кожна альтернатива зважується шляхом визначення “відстані” між ідеальною альтернативою і даною альтернативою. При цьому використовують такі способи задання “відстані”:

$E(a_k) = \sum_{i=1}^n |q_i(a_k) - q_i^0|$ – для показників однакової розмірності;

$E(a_k) = \sum_{i=1}^n \frac{|q_i(a_k) - q_i^0|}{|q_i^{\max(\min)}(a_k) - q_i^0|}$ – для показників різної розмірності,

де q_i^{\max} – найгірше (найбільше) значення показника, який мінімізують, q_i^{\min} – найгірше (найменше) значення показника, який максимізують.

$E(a_k) = \max_i |q_i(a_k) - q_i^0|$ – абсолютне відхилення для показників однакової розмірності.

8.2. Емпіричні методи встановлення важливості критеріїв.

Вище розглянуті методи не враховували суджень експертів стосовно різної важливості показників, що описують властивості системи. Тим часом врахування важливості показників є необхідним при побудові агрегованого критерію.

Переважно, у випадку різної важливості показників, агрегат будується у вигляді згортки

$$E(a_k) = \sum_{i=1}^n q_i(a_k) \cdot b_i,$$

де b_i – в даному випадку коефіцієнти важливості, для знаходження яких використовується метод експертних оцінок.

Для початку, кожен експерт виставляє оцінку важливості i -того критерію. Так отримуємо коефіцієнт c_{ij} , тобто важливість i -того критерію з точки зору j -того експерту.

Далі проводиться нормування усіх отриманих оцінок.

$$b_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^n c_{ij}}, \text{ для забезпечення умови } \sum_{j=1}^m b_{ij} = 1.$$

Заключний етап визначення важливості показників, передбачає усереднення нормованих оцінок, отриманих для групи експертів:

$$b_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m b_{ij},$$

де m - кількість експертів.

Отримана формула не враховує можливість різної компетенції експертів.

Якщо компетенцію кожного експерта позначити деяким коефіцієнтом g_j , $\sum_{j=1}^m (g_j) = 1$, то

остаточну формулу для коефіцієнтів важливості можна записати так: $b_i = \sum_{j=1}^m b_{ij} \cdot g_j$.

Зауважимо, що для отримання коефіцієнтів c_{ij} , переважно використовують один із трьох підходів:

- 1) метод безпосередньої оцінки;
- 2) метод ранжування;
- 3) метод послідовних переваг.

В методі безпосередніх оцінок коефіцієнт c_{ij} формується безпосередньо експертами із використанням таблиці важливостей з відповідними коефіцієнтами. Для більш важливого показника, з точки зору експерта, коефіцієнт c_{ij} буде мати більше числове значення.

Недоліком такого підходу є значна доля суб'єктивності в оцінці важливості показників.

Найчастіше, для визначення коефіцієнтів c_{ij} , використовують методи ранжування показників.

Порядок ранжування може бути такий. Усі показники розміщують в ряд у порядку зменшення їх важливості. Потім проводиться нумерація отриманого ряду, і виставлення коефіцієнта r_{ij} рангу кожному показнику згідно його номеру у ранжованому ряді. Найважливіший показник матиме $r_{ij}=1$. Якщо декілька показників в ряді важко розрізнити по важливості, то їхні коефіцієнти рангів будуть однаковими і визначаються як середнє арифметичне їхніх номерів у ряді.

Виходячи із лінійної залежності між рангом показника і його важливістю розраховують коефіцієнти c_{ij} , за такою формулою:

$$c_{ij} = 1 - \frac{r_{ij} - 1}{n}$$

Для оцінки об'єктивності отриманих коефіцієнтів r_{ij} рангів проводиться аналіз узгодженості суджень експертів. Результати аналізу зручно відобразити у вигляді коефіцієнта конкордації

$$W = \frac{12s}{m^2 \cdot (n^3 - n)},$$

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m r_{ij} - 0,5 \cdot m(n+1) \right]^2.$$

Значення коефіцієнта конкордації знаходиться в межах $0 \leq W \leq 1$. Якщо $W=0$, то це означає, що оцінки експертів абсолютно різні. За умови $W=1$ оцінки повністю узгоджені. Оцінки придатні для використання на побудову узагальненого критерію, якщо $0.7 \leq W$.

На завершення побудови критерія-агрегата необхідно пронормувати та масштабувати показники.

Масштабування переважно проводиться до одиничного діапазону значень показників. Нормування при цьому дозволяє об'єднати в агрегаті показники з різною розмірністю.

Одним із способів нормування та масштабування задається виразом

$$q_i^{\text{відн}} = \begin{cases} 0, \text{при } q_i \leq q_{in} \\ \frac{q_i - q_{in}}{q_{ie} - q_{in}}, \text{при } q_{in} < q_i < q_{ie} \\ 1, \text{при } q_i \geq q_{ie} \end{cases}$$

де q_{in} , q_{ie} – нижнє та верхнє можливі значення показника.

8.3. Прийняття рішень в умовах нечітко заданих критеріїв.

За умов нечіткого (з точки зору математики) опису характеристик системи їх зручно представити у вигляді лінгвістичних змінних, значенням яких є поняття чи речення вербального опису. Наприклад, лінгвістична змінна складність має значення: низька, висока, не дуже висока.

Найчастіше структуру лінгвістичної змінної для задач прийняття рішень розглядають у такому вигляді: $\langle Z, T, A \rangle$, де Z – ім'я лінгвістичної змінної, яка є агрегованою характеристикою системи; T – множина лінгвістичних значень; $A = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_K\}$ – множина базових змінних. Кожен елемент множини A задає сукупність певних властивостей системи. Оскільки ці властивості формуються внаслідок реалізації певної альтернативи, то в задачі прийняття рішень під множиною базових змінних $A = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_K\}$ будемо розуміти множину альтернатив, що забезпечує певні властивості системи. Декомпозиція агрегованої характеристики зі значенням із множини T лінгвістичних значень дозволяє отримати множину нечітких змінних $\{C_1, \dots, C_n\}$ – нечітких характеристик властивостей системи, на основі яких можна побудувати критерії зважування альтернатив. З цією метою для кожної нечіткої характеристики властивостей системи вводять функції відповідності $\mu_{C_i}(a_j) \in [0,1]$ властивостям, які забезпечуватимуть $\mu_{C_i}(a_j) \in [0,1]$ альтернатив:

$$C_i = \{\mu_{C_i}(a_1) | a_1, \dots, \mu_{C_i}(a_K) | a_K\}.$$

Критерій-агрегат за даних умов формулюється так: "Найкращою є та альтернатива, яка в найбільшій мірі забезпечує усі потрібні властивості системи, тобто властивості, що описуються нечіткою множиною C_1 і C_2 і ..., і C_n ". Тоді нечітка множина агрегованої характеристики властивостей формується так:

$$E = C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_n$$

Функція відповідності властивостей, які забезпечує a_j альтернатива властивостям відображеним в агрегованій характеристиці, матиме вигляд

$$\mu_E(a_j) = \min_{i=1, \dots, n} \{\mu_{C_i}(a_j)\}.$$

Згідно обраного критерію, найкращою буде та альтернатива a_0 , яка забезпечує $a_0 = \arg \max_{j=1, \dots, K} \{ \min_{i=1, \dots, n} \{\mu_{C_i}(a_j)\} \}$.

Розглянутий підхід до побудови агрегованого критерію прийняття рішень за умов нечітко заданих критеріїв не враховує різної важливості характеристик системи. У випадку різної важливості характеристик, нечітка множина агрегованої характеристики властивостей має такий вигляд

$$E = C_1^{\alpha_1} \cap C_2^{\alpha_2} \cap \dots \cap C_n^{\alpha_n},$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ - коефіцієнти важливості характеристик.

Функція відповідності властивостей в цьому випадку знаходиться так:

$$\mu_E(a_j) = \min_{i=1, \dots, n} \{\mu_{C_i}^{\alpha_i}(a_j)\}.$$

Для визначення коефіцієнтів $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ можна використати процедуру по-парного порівняння критеріїв на основі даних такої таблиці.

Відносна важливість критеріїв C_i, C_j	Значення елементів b_{ij}
Рівноважливість критеріїв	1
Трохи важливий	3
Відчутно важливий	7
Набагато важливіший	9
Важливіший	5
Інші випадки	2, 4, 6, 8

В таблиці: $b_{ii} = 1, b_{ji} = 1/b_{ij}$

Процедура знаходження коефіцієнтів важливості наступна:

1. Знаходження власних чисел матриці парних порівнянь B , складеної із елементів b_{ij} із розв'язку такого рівняння:

$$\det[B - \lambda I] = 0$$

Розв'язком рівняння будуть власні числа:

$$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_n$$

2. Знаходження серед власних чисел максимального:

$$\lambda_{\max} = \max_{i=1, \dots, n} \{\lambda_i\}$$

3. Знаходження власного вектора для максимального власного числа із системи рівнянь:

$$\vec{p} \cdot B = \vec{p} \cdot \lambda_{\max}$$

4. Розрахунок $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$

$$\alpha_i = p_i \cdot n$$

де p_i – i -та компонента власного вектора

Приклад використання методу критеріїв рівної важливості.

Вибір власником підприємства менеджера з таких кандидатів:

a_1 - головний інженер державного підприємства;

a_2 - працівник науково-дослідного закладу;

a_3 - головний економіст;

a_4 - колега;

a_5 - молодий перспективний випускник ВУЗу.

Кандидати оцінюються по таким характеристикам:

c_1 - професійні навички;

c_2 - організаторські здібності;

c_3 - досвід такого роду роботи;

c_4 - вміння працювати з людьми;

c_5 - вік.

Задаємо функції відповідності:

$$C_1 = \{0/7|a_1, 0.8|a_2, 0.9|a_3, 0.5|a_4, 0.8|a_5\}$$

$$C_2 = \{0/9|a_1, 0.6|a_2, 0.7|a_3, 0.8|a_4, 0.8|a_5\}$$

$$C_3 = \{0/9|a_1, 0.6|a_2, 0.8|a_3, 0.6|a_4, 0.3|a_5\}$$

$$C_4 = \{0/7|a_1, 0.6|a_2, 0.8|a_3, 0.6|a_4, 0.4|a_5\}$$

$$C_5 = \{0/6|a_1, 0.7|a_2, 0.7|a_3, 0.7|a_4, 0.9|a_5\}$$

Будуємо агреговану характеристику: $E = \{0/6|a_1, 0.6|a_2, 0.7|a_3, 0.5|a_4, 0.9|a_5\}$

Використовуючи критерій “найбільшої відповідності” приходимо до висновку, що найкращою є альтернатива a_3 (найвища функція відповідності).

Слід зауважити, що найбільшою проблемою у випадку прийняття рішень в умовах нечітко заданих характеристик та критеріїв є побудова функцій відповідності цих характеристик властивостям системи. Найчастіше вказані функції на неперервних множинах показників задаються у трикутному вигляді, із центром, що відповідає найбільш прийнятному значенню показника. Чим більше значення кута на вершині трикутної функції, тим більша нечіткість при описуванні характеристики.

Контрольні запитання.

- 1 Прийняття рішень в умовах багатокритеріальності.
- 2 Емпіричні методи встановлення важливості критеріїв.
- 3 Прийняття рішень в умовах нечітко заданих критеріїв.

ТЕМА 9.ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДОЛОГІЙ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

9.1. Послідовність методологія-метод-нотація-засіб.

9.2. Методології системних досліджень.

9.3. Основні етапи розв'язування проблем в КІС. Поняття життєвого циклу системи.

9.4. Методологія системного дослідження, орієнтована на дослідження існуючих систем та виявлення проблем

9.1. Послідовність методологія-метод-нотація-засіб

Методологія – це базове начало системного аналізу (СА). Вона включає визначення понять, предметної області, принципи системного підходу, а також постановку та загальну характеристику основних проблем організації системних досліджень.

Для підтримання реалізації методології достатньо часто використовують комп'ютерні засоби та спеціальні пакети прикладних програм – CASE-засоби.

Більшість CASE-засобів проектування інформаційних систем ґрунтується на парадигмі *методологія-метод-нотація-засіб*. Тобто, деталізація методології здійснюється за допомогою методів, а відображення результатів застосування методів здійснюється за допомогою нотацій.

Методологія визначає основні керуючі положення для оцінювання та обрання проекту інформаційної системи, що розробляється, кроки проектування, їх послідовність, правила розподілення та призначення методів.

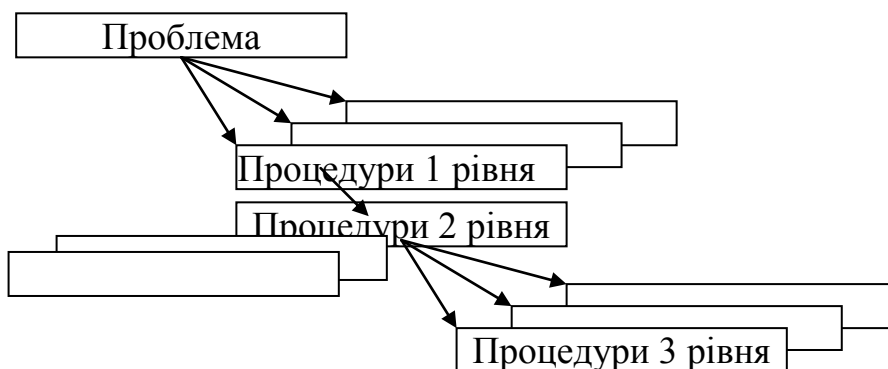
Метод – це систематична процедура або техніка генерації описань компонентів (наприклад, проектування потоків та структур даних).

Нотації призначені для описання структури системи, елементів даних, етапів опрацювання. В набір нотацій включаються графи, діаграми, таблиці, блок-схеми, формальні та природні мови.

Засоби – це інструментарій для підтримання та посилення методів. Ці інструменти підтримують роботу користувачів у процесі створення та редагування графічного проекту в інтерактивному режимі, вони сприяють організації проекту в вигляді ієрархії рівнів абстракції, реалізують перевірки компонентів на відповідність.

Методологія для побудови та розв'язання системних проблем являє собою певну цілісність і відноситься до цілеспрямованих систем.

Процес розв'язування проблем в системному аналізі розглядається, як деяка система процедур, яка має свою структуру, ієрархію та організацію.



Формально методологію розв'язування проблеми можна представити за допомогою кортежу:

$R : \langle M, Z, F \rangle$

M – множина елементарних дій;

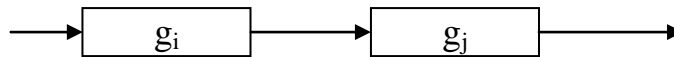
Z – множина зв'язків між діями;

F – опис проблеми.

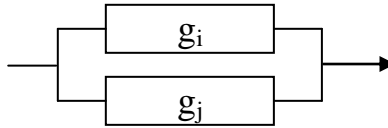
Кожна процес описується: а) метою; б) дією; в) способом виконання.

Кожна дія має мету, в результаті процесу розв'язування відповідає дерево цілей. На дереві цілей розрізняють такі зв'язки між цілями:

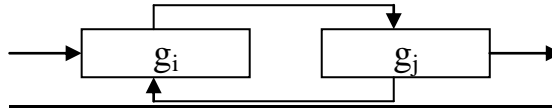
1. Послідовні зв'язки (j -та ціль не може бути досягнута, поки не досягнута i -та ціль).



2) Паралельно зв'язані цілі досягнення цілей незалежне.



3) Складно зв'язані цілі. Не можна відразу досягнути якоїсь цілі, спочатку досягаємо однієї цілі, а потім іншої.



Основні призначення та вимоги до методології:

- скеровувати осіб, що приймають рішення (ОПР), до пояснення взаємодії елементів у системі, розуміючи й те, що деякі елементи можуть діяти незалежно від інших;
- виявляти та пояснювати тенденції до більшої спеціалізації та зменшення зв'язності елементів системи;
- ідентифікувати та впорядковувати домінуючі елементи перед описанням системи як єдиного цілого, орієнтувати на використання обмежених ресурсів насамперед для управління домінуючими елементами;
- при збиранні релевантної інформації про систему використовувати творчі здібності ОПР для визначення бажаного призначення та структури системи, ідентифікації складових частин та формування альтернативних стратегій втручання;
- орієнтувати на остаточний результат, полегшуючи порівняння альтернатив з метою вибору найприйнятнішої;
- включати механізм оберненого зв'язку з метою аналізу негативної ентропії, еволюції та стійкості;
- як відкрита система методологія повинна використовувати інформацію з зовнішнього середовища для перевірки правильності управління системою та модифікації її призначення або дозволяти імітувати реакції зовнішнього середовища.

При дослідженні та конструюванні систем виникають наступні дві основні проблеми.

Проблема побудови. Яким чином при заданих макроцілях та цілях побудувати систему, яка їх успішно реалізує? Ця проблема розв'язується шляхом модифікації як конструкції системи, так і цілей і макроцілей з врахуванням існуючих обмежень до моменту досягнення сумісності і по суті є проблемою, яка розв'язується шляхом стратегічного планування.

Проблема керування. Яким чином необхідно керувати системою, модифікувати її структуру та потоки для реалізації нею свого призначення таким чином, щоб забезпечити динамічну стійкість? Приклад — керування суспільством з взаємодіючими економічним, соціальним та політичним потенціалами для його динамічної стабілізації.

9.2. Методології системних досліджень.

Основні етапи системних досліджень можуть відрізнятися залежно від предметної області та специфіки проблеми. Однак спільним при цьому залишається схема “мета – способи досягнення мети – ресурси”. Мета зазвичай структурується у вигляді дерева (мультидерева) цілей.

У таблиці 9.1. наведено особливості реалізації етапів системних досліджень сформульовані різними школами системних аналітиків.

На ґрунті основних наведених понять та термінів, що використовуються при дослідженні складних систем, будуються загальні способи використання цих понять у вигляді методологій системного дослідження, що у свою чергу включають певну послідовність кроків.

Таблиця 9.1.

За С.Л.Оптерном	За С.Янгом	За Н.П.Федоренком	За С.П.Никаноровим	За Ю.І.Черняком	За Ф.І.Перегудовим і Ф.П.Тарасенком
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ідентифікація симптомів 2. Визначення актуальності проблеми 3. Визначення мети 4. Визначення структури системи та її дефектів 5. Вивчення можливостей 6. Знаходження альтернатив 7. Оцінка альтернатив 8. Вироблення рішення 9. Визнання рішення 10. Запускання процесу рішення 11. Управління процесом реалізації рішення 12. Оцінка реалізації та її наслідків 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Визначення мети організації 2. Виявлення проблеми 3. Діагноз 4. Пошук рішення 5. Оцінки і вибір альтернативи 6. Узгодження рішень 7. Затвердження рішення 8. Підготовка до вводу в дію 9. Управління застосуванням рішення 10. Перевірка ефективності 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Формулювання проблеми 2. Визначення мети 3. Збір інформації 4. Вироблення максимальної кількості альтернатив 5. Відбір альтернатив 6. Побудова моделі у вигляді рівнянь, програм чи сценаріїв 7. Оцінка витрат 8. Випробування чутливості рішення (параметричне дослідження) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Виявлення проблеми 2. Оцінка актуальності проблеми 3. Аналіз обмежень проблеми 4. Знаходження критеріїв 5. Аналіз існуючої проблеми 6. Пошук можливостей (альтернатив) 7. Вибір альтернатив 8. Забезпечення визначення 9. Визнання рішення (прийняття формальної відповідальності) 10. Реалізація рішення 11. Визначення результатів рішення 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналіз проблеми 2. Визначення системи 3. Аналіз структури системи 4. Формулювання загальної мети і критерію 5. Декомпозиція мети, виявлення потреби в ресурсах, композиція цілей 6. Виявлення ресурсів, композиція цілей 7. Прогноз і аналіз майбутніх цілей 8. Оцінка цілей і засобів 9. Відбір варіантів 10. Діагноз існуючої системи 11. Побудова комплексної програми розвитку 12. Проектування організації для досягнення мети 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Визначення конфігуратора 2. Визначення проблеми і проблематики 3. Виявлення мети 4. Формування критеріїв 5. Генерування альтернатив 6. Побудова та використання моделей 7. Оптимізація 8. Вибір 9. Декомпозиція 10. Агрегування 11. Дослідження інформаційних потоків 12. Дослідження ресурсних можливостей 13. Спостереження та експерименти над досліджуваною системою 14. Реалізація, впровадження результатів аналізу

9.3. Основні етапи розв'язування проблем в КІС. Поняття життєвого циклу системи.

Розвиток або побудова КІС здійснюється за деяку послідовність кроків. Ця послідовність називається життєвим циклом системи (System life cycle) або проблемно-розв'язувальним циклом.

Першим кроком при створенні життєвого циклу є побудова структури всіх видів діяльності, наприклад такої як показана на рис 9.1.

Діаграма показує, певну послідовність досягнення цілей. Наприклад, існуюча комп'ютерна система повинна бути випробувана для одержання комп'ютерної моделі даних. Такі графи – діаграми можуть використовуватися на кінцевих стадіях розвитку системи або для розв'язування спрощених проблем.

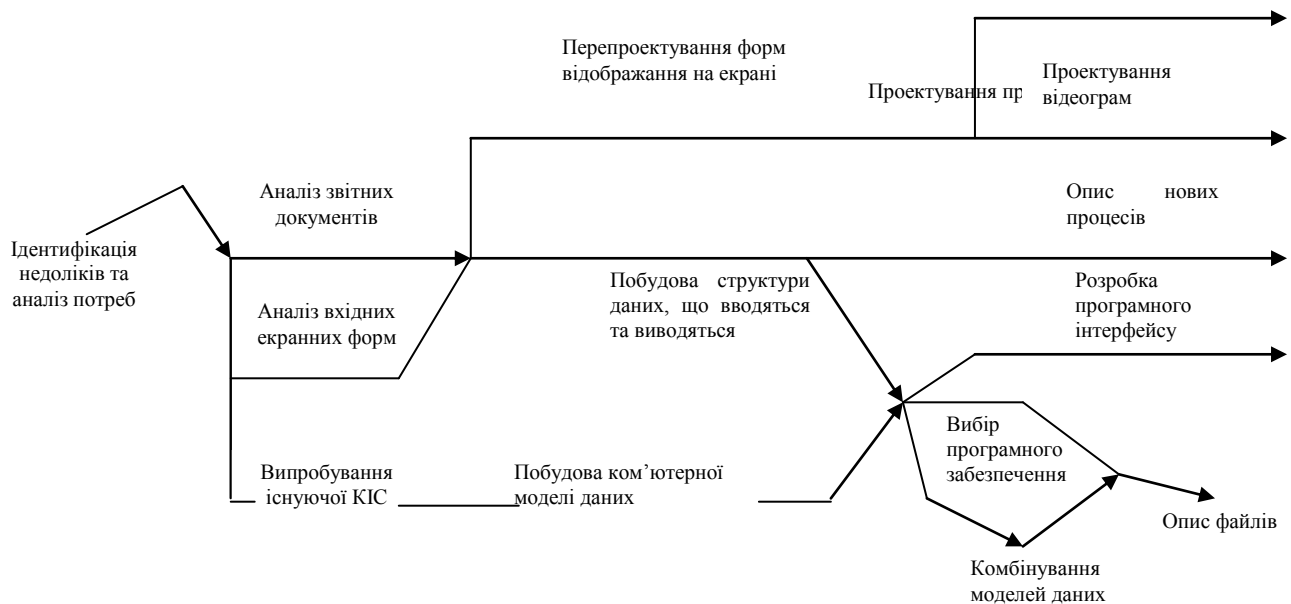


Рис.9.1

На практиці доводиться змінювати деякі види діяльності та послідовність їх виконання. Тому життєвий цикл описують у вигляді етапів високого рівня, а детальні види діяльності описують у вигляді графа в рамках кожного етапу на більш пізніших стадіях розвитку системи.

Вибір певного циклу розв'язування проблем залежить від типу та складності проблеми. Найчастіше для розвитку протоколюючих КІС використовують лінійні життєві цикли. Рідше – прототипування та еволюційний розвиток.

Лінійний життєвий цикл складається з послідовності етапів, в якій жоден етап не може початися, поки не закінчився попередній етап. Після кожного етапу формується звіт. Звіт включає: інформацію про те що було зроблено на даному етапі; план для наступного етапу, включаючи його забезпечення ресурсами; опис системи на даному етапі. Цей звіт використовується, як системними аналітиками, проєктувальниками так і менеджерами для того щоб знати, як просувається проєкт і направити його по оптимальному руслу.

На рис. 9.2 зображена діаграма, що відображає основні етапи розв'язування проблем.

Етап 1. Опис проблеми (Problem definition)

Етап включає опис проблеми, її складові, мету, цілі та головні можливі напрямки досягнення мети – альтернативи.

Основою для формулювання мети є: визначення недоліків системи, наприклад, відсутність її певних частин; стратегічний план розвитку, який відображає, які частини в системі необхідно розвивати; аналоги, порівняння з якими дозволить відобразити недоліки; обмеження на ресурси, які дозволять визначити що варто робити в даному проєкті, а що не варто. Для визначення недоліків слід керуватися такою їх класифікацією: відсутні функції; незадовільне виконання функцій; надмірна вартість реалізації функцій.

Правильне визначення мети та цілей проєкту є дуже важливим, тому, що проєкти будуть змінюватися в залежності від постановки мети. Мета проєкту формується в загальному і повинна відповідати усуненню недоліків. Конкретизація мети проводиться в цілях та підцілях, які формулюються шляхом постановки запитання: Як можна досягнути мети (цілі)? При цьому слід вибрати ті цілі, які є реальними. Нереальні цілі слід поступово відкидати.

У такий спосіб формується дерево цілей, вершиною якого є мета, а на нижньому рівні – задачі. Реалізація дерева цілей дозволить досягнути мети, тобто розв'язати проблеми.

Наступний крок при описі проблеми – генерація набору напрямків-альтернатив – для досягнення мети (дерева цілей). Кожна альтернатива повинна характеризуватися такими властивостями: функціональною, технічною (технологічною), економічною. Функціональна властивість альтернативи відображає наскільки буде досягнута мета при її реалізації, тобто що в новій системі буде покращено. Технічна (технологічна) – дає відповідь при аналізі альтернативи: Чи технічно можна реалізувати дану альтернативу, або Чи дозволяє її реалізувати сучасний рівень технологій? Економічна характеристика альтернативи відображає який буде зиск від реалізації альтернативи і які витрати при цьому необхідні.

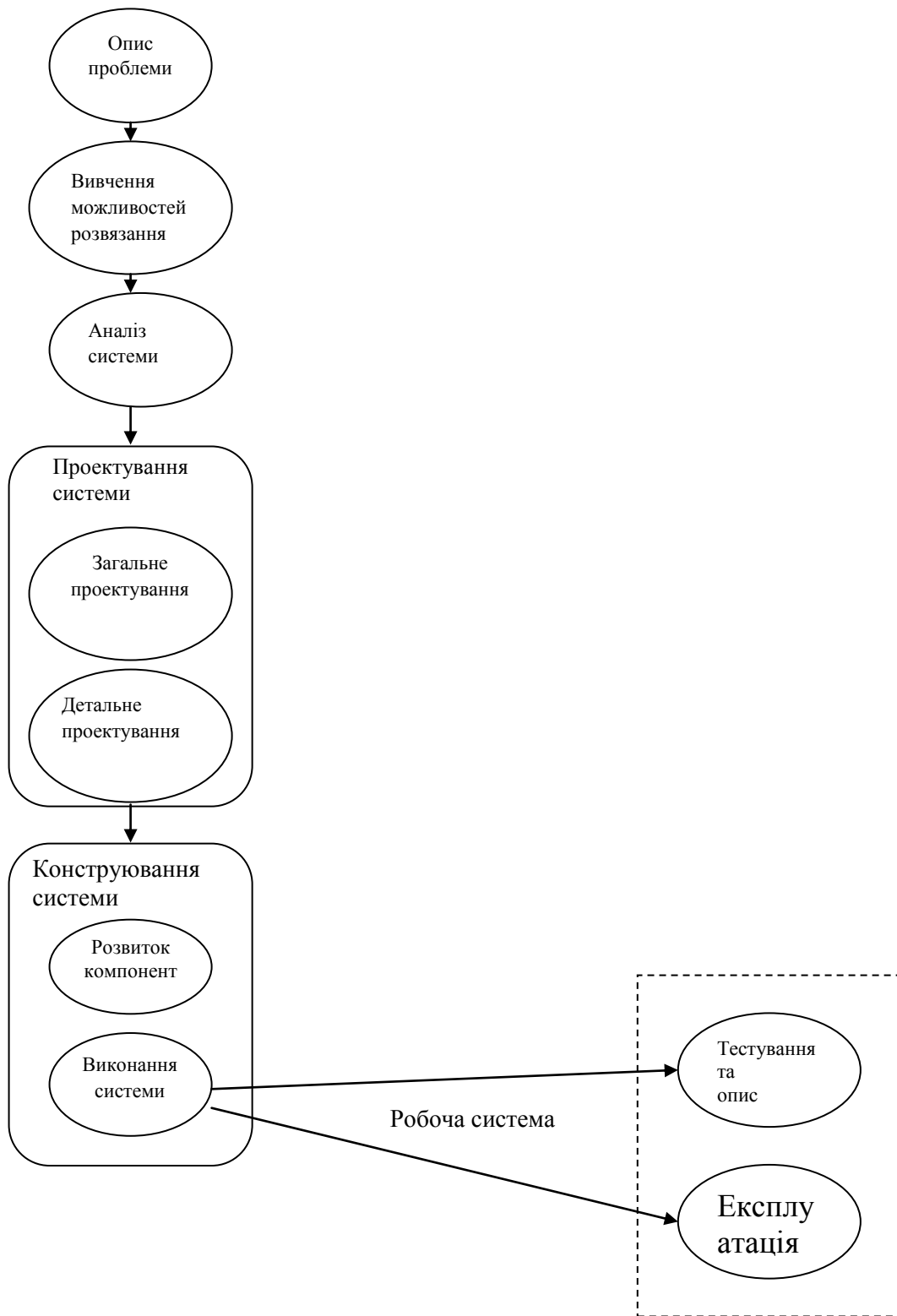


Рис. 9.2

На етапі генерування альтернатив не потрібна надмірна їх деталізація. Альтернатива повинна давати чітке уявлення про вартість проекту та наскільки нова система буде здатна до виконання своїх функцій. На цій стадії достатньо оцінити, чи альтернатива, яка буде проектом є хороша і достатня для досягнення мети. Судження про те що представляє собою опис альтернативи в загальному вигляді є дуже суб'єктивним. Однак цей опис повинен відображати основну ідею проекту, тобто, що в новій системі буде покращено і переконувати людину, що це варто додаткових коштів та праці. При описі альтернативи також чітко повинно бути відображено: устаткування яке необхідно закупити для проекту; які функції у системі буде виконувати користувач, а які передаватимуться комп'ютеру; яку

інформацію буде продукувати система користувачу. При формуванні альтернатив розглядають три групи стосовно рівня комп'ютеризації системи: повний, середній та мінімальний.

Етап 2. Вивчення можливостей розв'язання.

На цьому етапові визначаються обмеження на розробку, тобто які частини розробляються, які використовуються з існуючої системи, які необхідно замовляти. Визначаються необхідні ресурси на побудову системи, строки, якісний та кількісний склад людських ресурсів. Тобто формуються всі вимоги та рекомендації які потім використовуються менеджерами проекту.

Другий етап також передбачає аналіз можливостей кожної із альтернатив, згенерованих на етапі опису проблеми, при досягненні мети. Шляхом використання певних критеріїв здійснюється вибір "найкращої" альтернативи. Найчастіше аналізуються такі властивості альтернативи: Чи альтернатива покращує функції системи, наскільки? Чи технічно можливо її реалізувати своїми силами, чи із залученням сторонніх спеціалістів? Наскільки економічно вигідно реалізувати дану альтернативу?

Функціонально-вартісний аналіз є найбільш придатним методом системного аналізу на даному етапі.

Процедура вибору альтернатив може проводитись у такій послідовності: послідовна оцінка технічної та функціональної можливостей альтернатив і формування множини технічно можливих і функціонально-придатних альтернатив; оцінка економічної ефективності відібраних альтернатив з метою вибору найбільш ефективної.

Наступним кроком на цьому етапі є детальний опис проекту із визначенням матеріальних, часових і людських ресурсів на його реалізацію.

Етап 3. Аналіз системи.

Метою цього етапу є відображення властивостей існуючої системи, зображення її структури у вигляді, наприклад DFD. На цьому етапі аналітиками проводиться загальний аналіз системи з використанням різних методів моделювання.

Отримана (детальна) модель системи переважно є складною, ієрархічної структури, тобто включає сукупність моделей, які утворюють цілісність. Найчастіше для КІС ця модель представляється за допомогою діаграм потоків даних із наступною деталізацією потоків даних та процесів. Процеси можуть описуватися на формальному рівні, наприклад, у вигляді моделей "чорна скринька", алгоритмічно чи за допомогою таблиць рішень.

Етап 4. Проектування системи.

Метою цього етапу є створення моделі "нової" системи, у якій будуть відсутні виявлені проблеми і досягнута внаслідок реалізації відібраної альтернативи мета проекту. Побудова нової моделі здійснюється двома підетапами: побудова загальної моделі (структури) та її окремих компонент.

При відображенні структури "нової" системи на першому етапі зручно використати діаграми потоків верхніх рівнів, які включатимуть нові процеси, що реалізують нові чи модифіковані функції з новими чи перерозподіленими потоками даних та нові елементи накопичення. На підетапі детального проектування проводиться специфікація компонент системи.

На цьому етапі проектувальники повинні: відібрати обладнання необхідне для побудови системи; точно визначити нові програми, чи змінити існуючі, а також бази даних; розробити процедури користувачів та описати як їх використовувати.

Етап 5. Конструювання системи.

Результатом етапу є працююча система (розв'язані проблеми), що не має визначених недоліків своєї попередниці.

Цей етап так як і попередній поділяється на два підетапи: розвиток і виконання, але на відміну від двох попередніх на яких у більшій мірі використовується принцип "зверху до низу", тобто операції декомпозиції, на даному етапі головним є принцип "знизу до верху", тобто агрегування.

Спочатку конструюються компоненти системи, для яких розроблені специфікації на етапі проектування. В КІС цими компонентами можуть бути програми, які реалізуватимуть функції системи, бази даних і т.д.

Поєднання компонент здійснюється згідно загальної моделі системи, також розробленої на етапі проектування.

Закінчується етап передачею працюючої системи користувачам.

Етап 6 Тестування та експлуатація.

Результатом цього етапу є підтвердження досягнення мети проекту та повноти реалізації дерева цілей.

Перевіряється все те що планувалось на стадії опису системи, знаходяться помилки в роботі системи і виправляються під час її експлуатації.

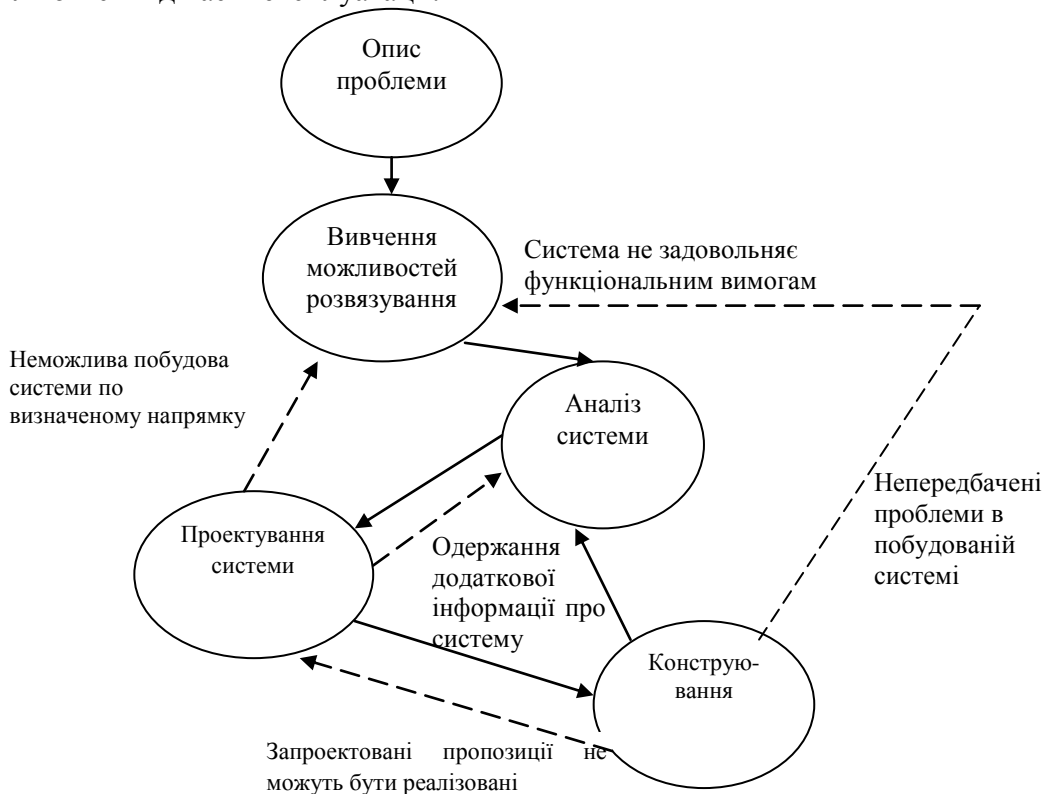


Рис. 9.3.

В лінійному життєвому циклі розглядають лінійну послідовність типу “етап за етапом”. Однак в практичних дослідженнях етапи можуть повторюватися. Наприклад через те що систему неможливо побудувати виділеними ресурсами, або недостатньо інформації одержано на попередньому етапі. В результаті від лінійних циклів розв’язування проблем необхідно переходити до контурних, як це показано на рис. 9.3.

У випадку великої системи використовується по-крокове проектування. На кожному кроці розв’язуються проблеми в одній із підсистем. Кожен крок являє собою лінійний життєвий цикл.

9.4. Методологія системного дослідження, орієнтована на дослідження існуючих систем та виявлення проблем

Методологія є абстрактною схемою, що визначає послідовність орієнтуючих дій, тобто дослідження конкретної системи буде більшою або меншою мірою відрізнятись від розглянутих схем.

Методологія системного дослідження, орієнтована насамперед на дослідження існуючих систем та виявлення проблем, включає до свого складу наступні кроки.

1. Формування загальних уявлень про систему

1. *Виявлення призначення, мети, головних цілей, функцій, властивостей системи. Формування (вибір) основних предметних понять, що використовуються в системі.*

Необхідно виявити основні результати діяльності (виходи) системи, визначити їх тип: інформаційні, матеріальні, енергетичні; поставити їм у відповідність певні поняття (вихід підприємства — продукція; яка?, вихід системи проектування — документація (що саме? які описання, креслення?), вихід системи управління — сигнали (для чого? в якому вигляді?).

2. *Виявлення основних складових (модулів) системи та їх функцій; розуміння єдності цих складових в межах системи.*

Попереднє ознайомлення з внутрішнім змістом системи, виявлення агрегованих (узагальнених) складових системи, їх значення в системі. Отримання первинної інформації про структуру та характер основних зв'язків та системотворчих відношень у системі. Таку інформацію зручно представляти у вигляді різноманітних структурних схем системи, на яких виявляється характер руху потоків у системі (паралельний, послідовний), взаємодія між складовими. Результатом цього етапу є структурна схема системи в тому чи іншому представленні залежно від мети дослідження та домовленостей, що вживаються в досліджуваній предметній області. Особливу увагу слід звернути на виявлення системотворчих відношень та факторів, тобто того, що в першу чергу робить систему системою.

3. Виявлення основних процесів у системі, їх значення, умов перебігу, етапності, стрибків, змін стану та інших особливостей в функціонуванні системи, виокремлення основних керуючих факторів.

Вивчається динаміка найважливіших змін в системі, перебіг подій, вводяться параметри стану, аналізуються фактори, що змінюють ці параметри та забезпечують перебіг процесів, умови початку та завершення процесів. Вивчається керованість процесів та їх вплив на здійснення системою своїх основних функцій, класифікуються основні керуючі дії, їх тип, джерела та ступінь впливу на систему.

4. Виявлення основних елементів оточення системи (не-системи), з якими пов'язана система, що вивчається, характеру зв'язків системи з елементами оточення.

Досліджуються зовнішні дії на систему (входи системи), їх тип (інформаційні, матеріальні, енергетичні), ступінь впливу на систему, основні характеристики. Фіксуються межі того, що вважається системою, виявляються елементи оточення, на які спрямовані вихідні дії системи («не-система»). Досліджується еволюція системи, шлях її формування, що в багатьох випадках полегшує розуміння структури та особливостей функціонування системи. У результаті отримується чіткіше уявлення про основні функції системи, її залежність, вразливість чи невразливість від зовнішнього середовища.

5. Виявлення невизначеностей та випадковостей у ситуаціях визначального впливу їх на систему.

Цей крок виконується у випадку, коли дія невизначеностей та випадковостей у процесі функціонування є значною.

Після виконання п. 5 загальні уявлення про систему будуть сформованими. Зазвичай отриманої інформації достатньо, якщо досліджуються системи, з якими надалі не передбачається безпосередньої праці. Якщо ж систему необхідно глибоко вивчати, покращувати, керувати нею, то необхідним є поглиблене її вивчення.

II. Формування поглиблених уявлень про систему

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

7. Виявлення всіх елементів та зв'язків, важливих для цілей розгляду, їх співвіднесення до ієрархії системи, ранжування елементів та зв'язків за важливістю.

Кроки 6 та 7 тісно пов'язані один з одним. Крок 6 — це межа пізнання «всередині» достатньо складної системи для особи, що оперує системою загалом. Глибші знання про систему будуть мати лише фахівці, що відповідають за окремі її частини. Для не дуже складних систем рівень кроку 7 може досягнути і одна людина. Пізнання системи — це не просто відділення суттєвого від несуттєвого, але й більша увага до суттєвішого. Деталізація стосується і зовнішніх зв'язків системи з «не-системою», оточуючим середовищем. Кроки 6—7 — це завершальні кроки цілісного вивчення системи. Подальші кроки розглядають вже окремі сторони, а тому важливо ще раз повернутися до розгляду системотворчих відношень та факторів, на роль кожного елемента та відношення для системи загалом, на розуміння того, чому вони повинні бути такими чи є такими з точки зору єдності системи.

8. Врахування змін та невизначеностей у системі.

Досліджується повільна, зазвичай небажана зміна властивостей системи, її «старіння», можливість заміни окремих складових, які не лише сповільнюють старіння, але й дозволяють покращити якість системи порівняно з початковим рівнем. Це можливості вдосконалення штучної системи, покращення характеристик її складових та додавання нових компонентів, накопичення інформації з метою кращого її використання, перебудова структури системи, її розвиток.

Основні невизначеності в системі досліджені на кроці 5. Однак не-детермінованість присутня і в системі, що не призначена до функціонування в умовах випадкового характеру входів та зв'язків. Врахування невизначеностей у системі реалізується декількома шляхами.

По-перше, можна оцінювати «найгірші», в певному сенсі «граничні» можливі ситуації і на цьому ґрунті робити висновки про поведінку системи взагалі — цей спосіб ґрунтується на використанні принципу гарантованого результату, тобто забезпечення потрібного рівня функціонування системи за найгірших умов.

По-друге, на ґрунті інформації про стохастичні характеристики системи (математичне сподівання, дисперсія, моменти вищих порядків та ін.) визначаються ймовірнісні характеристики виходів системи. В цьому випадку отримуються певним чином «усереднені» або інтервальні характеристики системи.

По-третє, достатньо надійну систему можна побудувати й з ненадійних елементів шляхом дублювання та інших прийомів — математично оцінити таких підхід можливо шляхом застосування результатів теорії надійності.

Дослідження невизначеностей трансформується в дослідження чутливості найважливіших властивостей системи, тобто ступеня впливу зміни потоків на входах системи на зміну її виходів, структури системи та властивостей її елементів.

9. Дослідження функцій та процесів у системі з метою управління ними. Формування управлінь та процедур прийняття рішень. Формування системи управління на ґрунті окремих керуючих дій.

Для цілеспрямованих систем цей крок має важливе значення. Основні керуючі фактори вже розглянуті на кроці 3. Для ефективного управління та вивчення його впливу на функції та властивості системи необхідне глибоке знання системи. Тому аналіз управлінь реалізується лише на цьому кроці, після всебічного розгляду системи. Єдиний розгляд всіх цілеспрямованих втручань у поведінку системи є по суті аналізом системи керування, яка переплетена з основною системою, але чітко вирізняється з точки зору основної функції — керування.

Виявляється, де, коли і як (в яких елементах системи, в яких час, в яких процесах, стрибках, виборах, логічних переходах) система керування діє на основну систему, наскільки це ефективно, прийнятне та якісно реалізоване. При розгляді управлінь у системі повинні бути досліджені можливості переведення входів та деяких параметрів в керовані, визначені припустимі межі значень управлінь та способи їх реалізації.

Шляхом виконання кроків 6—9 реалізується поглиблене дослідження системи. Далі згідно цієї методології надходить моделювання системи. Деякі з властивостей системи доцільно вивчати на моделях й на кроках 6—9, однак про створення моделі системи можна вести мову лише тоді, коли система повністю вивчена.

III. Моделювання системи як етап її дослідження

10. Побудова сукупності моделей для описання системи.

На цьому кроці система розглядається з точки зору зручного відображення її властивостей для створення описання системи, придатного для передбачення її поведінки та виведення неочевидних властивостей. Точність моделювання повинна бути мінімальною, яка ще забезпечує відображення всіх важливих особливостей системи. Відсутність надлишкової деталізації — це зменшення об'єму вхідних даних, вимог до ресурсів моделюючого комп'ютера, але з іншого боку занадто проста модель не описує суттєві якісні особливості системи (є неадекватною системою) і приведе до формування неправильних висновків про поведінку системи. Знаходження межі розумної складності моделі є далеко не тривіальним завданням, і практично вона остаточно визначається в процесі моделювання на конкретних прикладах.

Отже, ставиться мета — створити таке описання системи, яке б дозволяло передбачати її поведінку та виявляти неочевидні властивості. Якщо на попередніх етапах можливим був розгляд моделей та системи без відділення одного від іншого, то тут їх необхідно розрізняти, а також чітко уявляти ступінь огрублення та наближеності моделі.

IV. Супровід системи

Накопичення досвіду роботи з системою та її моделлю, уточнення інформації про систему, вдосконалення моделей.

Перевірка та дослідна експлуатація наших знань про систему, їх достатності та відповідності в процесі роботи з системою та її моделлю. При виявленні невідповідностей між передбачуваною та дійсною поведінкою системи можливо потрібен буде перегляд аналізу структури та ієрархії для знаходження неправильно визначених елементів та відношень і доповнення новими. Ще раз перевіряється ступінь адекватності моделі системі. Накопичення досвіду має ще й значний психологічний ефект для користувачів.

12. Оцінка граничних можливостей системи, дослідження відмов, виходів з ладу, відхилень від норми.

Працездатність системи перевіряється її періодичним або постійним тестуванням. Набір таких тестів може бути достатньо складним і сам утворювати систему, що включатиме опрацювання та розшифрування результатів тестування, їх комплексний аналіз. Відмови та інші незаплановані явища вивчаються з точки зору ймовірності їх виникнення, попереджуючих заходів, варіантів реагування на них.

13. Розширення функцій (властивостей) системи, зміна вимог до неї, нове коло задач, нові умови роботи, включення системи елементом в систему вищого рівня.

Реалізується часткова зміна призначення системи та пов'язана з цим перебудова її функціонування. Необхідно визначити всі відмінності нової ситуації, її вплив на наявну структуру та властивості елементів, систему керування, наскільки і яким чином можна їх модифікувати.

Включення системи в якості елемента до певної макросистеми вимагатиме перегляду основних зв'язків з «не-системою» (макросистемою та оточенням). Формулювання вимог з боку макросистеми може викликати необхідність перегляду всіх основних системних понять та зачепити всі етапи дослідження.

Особливості створення нової системи

Ця ж методологія може застосовуватися і у процесі створення нової системи. Послідовність етапів залишається такою ж, але змінюється їх спрямованість — по суті вони будуть етапами «попереднього проектування», після чого, власне, виконується етап створення нової системи.

Отже, оскільки системний аналіз застосовується для розв'язування найрізноманітніших задач із застосуванням найрізноманітнішого інструментарію, послідовність загальних етапів системного аналізу фіксується у вигляді методології. Однак, аналізуючи роботи різних авторів, виявляється, що й на рівні методології пропонуються різноманітні послідовності дій, хоча слід відзначити спільність поглядів та принципову єдність підходів до поділу процесу системного аналізу на етапи.

Контрольні запитання.

1. Послідовність методологія-метод-нотація-засіб.
2. Методології системних досліджень.
3. Основні етапи розв'язування проблем в КІС. Поняття життєвого циклу системи.
4. Методологія системного дослідження, орієнтована на дослідження існуючих систем та виявлення проблем

ТЕМА 10. ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

10.1 Метод дерева цілей.

10.2 Метод Дельфі.

10.1. Метод дерева цілей.

Ідея методу дерева цілей уперше була запропонована У. Черчменом у зв'язку з проблемами прийняття рішень у промисловості.

Термін «дерево цілей» використовується як для деревовидних ієрархічних структур, так і у випадку «слабких» ієрархій. Тому так само вживається запропонований В. М. Глушковым термін «прогнозний граф», який може представлятися як у вигляді деревоподібної ієрархічної структури, так і у формі структури з «слабкими» зв'язками.

При використанні методу дерева цілей як засобу прийняття рішень використовують також термін «дерево рішень». При застосуванні дерева цілей для виявлення й уточнення функцій керування говорять про «дерево цілей і функцій». При структуризації тематики науково-дослідної організації зручніше користатися терміном «дерево проблем», а при розробці прогнозів терміном «дерево напрямків розвитку (чи прогнозування розвитку)» або згаданим вище терміном «прогнозний граф».

Метод дерева цілей орієнтований на одержання повної і відносно стійкої структури цілей, проблем, функцій, напрямків, тобто такої структури, яка мало змінюватиметься протягом певного періоду часу при неминучих змінах, що відбуваються в будь-якій системі, яка розвивається. Для досягнення цього при побудові варіантів структури варто враховувати закономірності цілеутворення і використовувати принципи і методики формування ієрархічних структур цілей і функцій.

Цілі впливають з об'єктивних потреб і мають ієрархічний характер. Цілі верхнього рівня не можуть бути досягнуті, поки не досягнуті цілі найближчого нижнього рівня. В міру переміщення вниз рівнями ієрархії цілі конкретизуються. У процесі побудови та використання дерева цілей необхідно прагнути чіткого і конкретного формулювання цілей, забезпечити можливість кількісної чи порядкової оцінки ступеня їхнього досягнення.

Цілі діяльності системи необхідно конкретизувати за часом і виконавцями, тобто загальний остаточний результат, якого прагне система, треба піддати декомпозиції на окремі задачі, що розв'язуватимуться в коротші терміни. Крім того мета, якої прагне, наприклад, фірма загалом, конкретизується для окремих підрозділів і ланок апарату керування. При цьому необхідно, щоб колектив кожного підрозділу чітко знав загальну (генеральну) мету і свою роль у її досягненні.

Структурування дає можливість деталізувати цілі і шляхи їхнього досягнення, виявити існуючі між ними взаємозв'язки, забезпечити визначену логіку розв'язання проблеми. В більшості випадків дерево цілей будується поетапно, згори донизу, шляхом послідовного переходу від вищого рівня до нижчого суміжного рівня, хоча існують методи побудови дерева одночасно «згори» — від розробників та керівництва, та «знизу» — починаючи від користувачів-виконавців, з наступною координацією отримуваних структур. Структурування дає можливість навіть при проведенні чисто якісного аналізу одержати нові ідеї, розкрити нові можливості рішення досліджуваної проблеми на різних рівнях керування.

Конкретизація цілей згори донизу повинна зростати: чим нижче рівень, тим в докладнішій формі формулюється мета — в деяких випадках вдається дістатися кількісної форми критеріїв.

Одним з варіантів побудови дерева цілей є наступний. Генеральну мету бажано записувати в наступному форматі:

[Дієслово-дія] [пояснення] [об'єкт] та/або [Дієслово-дія] [пояснення] [об'єкт] та/або [Дієслово-дія] [пояснення] [об'єкт].

Потім ціль розбивається на конкретніші підцілі, що записуються у тому ж форматі, декомпозиція цілей відбувається доти, поки підцілі не стануть об'єктивно вимірними, або ж коли подальша декомпозиція виявиться недоцільною.

Для перевірки повноти і внутрішньої несуперечливості дерева цілей застосовуються наступні правила.

При просуванні згори донизу деревом цілей підціль-нащадок утворюється шляхом відповіді на запитання «що потрібно зробити, щоб реалізувати безпосередню ціль-предок попереднього рівня?».

При просуванні знизу догори ціль вищого рівня повинна відповідати на запитання «для чого необхідна безпосередня підціль-нащадок».

При розгляді множини безпосередніх підцелей-нащадків, необхідних для досягнення однієї цілі, необхідно уточнити, чи всі підцілі дійсно необхідні для її досягнення.

При розгляді множини безпосередніх підцелей-нащадків, необхідних для досягнення однієї цілі, слід уточнити, які ще безпосередні підцілі-нащадки необхідні для досягнення мети.

Одним з перших методів системного аналізу, в якому були визначені порядок та етапи роботи зі структурою цілей у процесі прогнозування та планування, був метод PATTERN (Planning Assistance Through Technical Evaluation Relevance Number), розроблений в RAND Corporation для наукових робіт військового характеру.

Основними етапами PATTERN є наступні:

розроблення сценарію, що являє собою прогноз політичної картини світу на період, що планується;

розроблення прогнозу розвитку науки і техніки (який може бути складовою частиною сценарію);

розроблення дерева цілей шляхом визначення коефіцієнтів відносної важливості, коефіцієнтів стану розробки та строків, коефіцієнтів взаємної корисності;

опрацювання результатів оцінювання (розрахунок сумарних коефіцієнтів) та надання результатів особам, що приймають рішення.

Неформальний аспект методу відображається шляхом участі експертів на всіх етапах побудови дерева цілей. Формальну частину утворюють принципи, якими керуються експерти при побудові дерева цілей:

- дерево цілей є структурою, що пов'язує міме собою як причину, так і наслідок — головні цілі системи з задачами, завданнями та засобами їх забезпечення;
- змістовна частина дерева цілей будується на ґрунті складеного прогнозу — політичної картини світу на планований період;
- не розглядаються розв'язані задачі, а також задачі, розв'язання яких очікується в найближчі роки;
- для елементів дерева обчислюються коефіцієнти відносної важливості (КВВ), коефіцієнти «стан-строк» (КСС) та коефіцієнти взаємної корисності (КВК).

Побудова дерева цілей в методі PATTERN базувалася на евристичному ґрунті, і виникали природні запитання про повноту представлення та ненадлишковість цілей кожного рівня, що привело до появи ряду інших варіантів методології побудови дерева цілей.

Тому при формуванні конкретних структур цілей запропоновано та використовуються наступні два прийоми формування верхніх рівнів дерева цілей. Перший базується на концепції про відповідність складових двох шкал розвитку системи: просторової (цілі власне системи; цілі, що визначаються взаємними відношеннями з найближчим середовищем; цілі, що ініціюються віддаленим середовищем) та шкали часу (поточні оперативні цілі, цілі найближчої перспективи, цілі віддаленої перспективи).

Підцілі верхніх рівнів дерева визначаються діагоналлю матриці, і, отже, в залежності від конкретних умов є можливість обмежувати дерево за рахунок виключення, наприклад, відразу цілої гілки підцелей віддаленої перспективи та віддаленого середовища, не змінюючи при цьому інших гілок дерева.

Окрім того, доцільно формувати структуру дерева цілей шляхом уявлення його у вигляді піраміди з послідовним обходженням всіх її граней, повертаючись на новому витку до вже структурованих раніше гілок з врахуванням нового бачення проблеми.

Для побудови дерева цілей доцільно також використовувати загальні ознаки структурування для різних рівнів системи.

Принципи та ознаки структуризації, що пропонуються в різних методологіях, ґрунтуються на досвіді формування структур цілей. Розкриваючи одну й ту ж глобальну мету, різні аналітики можуть отримати різні ієрархічні структури, і це є природним, оскільки системний аналіз ґрунтується не лише на формальних процедурах та прийомах, але й на використанні інтуїції та досвіду фахівців. З іншого боку, рекомендації кваліфікованих системних аналітиків будуть близькими між собою.

10.2. Метод ДЕЛЬФІ

Особливий клас методів, що пов'язані безпосередньо з опитуванням експертів, утворюють методи експертних оцінок (назва походить від специфіки процедури отримання інформації від експертів — при опитуваннях експертів оцінки проставляються в балах і рангах), тому вони і подібні їм підходи іноді поєднують терміном «якісні» (розуміючи умовність цієї назви, тому що при опрацюванні думок, отриманих від фахівців, можуть використовуватися і кількісні методи). Так, в методі аналізу ієрархій застосовувався один з найпростіших варіантів методів експертного оцінювання — **попарне порівняння**.

Цей термін (методи експертних оцінок) більшою мірою, ніж інші, відображає суть методів, використовувати які змушені фахівці, коли вони не лише не можуть відразу описати проблему за допомогою кількісних аналітичних залежностей, але і не бачать, які з методів формалізованого представлення систем могли б допомогти одержати модель для ухвалення рішення.

Вивченню можливостей і особливостей застосування експертних оцінок присвячено багато робіт. У них розглядаються форми експертного опитування (різні види анкетування, інтерв'ю), підходи до оцінювання (ранжування, нормування, різні види упорядкування і т. д.), методи опрацювання результатів опитування, вимоги до експертів і формування експертних груп, питання тренування експертів, оцінки їхньої компетентності (при опрацюванні тверджень вводяться і враховуються коефіцієнти компетентності експертів, вірогідності їхніх думок), методики організації експертних опитувань. Вибір форм і методів проведення експертних опитувань, підходів до опрацювання результатів опитування і т. д. залежить від конкретної задачі й умов проведення експертизи. Однак існують деякі загальні проблеми, які потрібно пам'ятати фахівцю із системного аналізу. Зупинимося на них докладніше.

Можливість використання експертних оцінок, обґрунтування їхньої об'єктивності звичайно базується на тому, що невідома характеристика досліджуваного явища трактується як випадкова величина, відображенням закону розподілу якої є індивідуальна оцінка фахівця-експерта про вірогідність і значимість тієї чи іншої події. При цьому передбачається, що значення досліджуваної характеристики знаходиться усередині діапазону оцінок, одержуваних від групи експертів, і що узагальнена колективна думка є достовірним.

Однак це припущення не завжди є правильним. Тому існують методи, в яких пропонується розділити проблеми, для розв'язання яких застосовуються експертні оцінки, на два класи:

до першого класу належать проблеми, що досить добре забезпечені інформацією і для яких можна вважати експерта зберігачем великого обсягу інформації, а групову думку експертів — близькою до істини; до другого класу належать проблеми, стосовно яких групових знань експертів для впевненості в справедливості названих припущень недостатньо; експертів не можна розглядати як достовірних «вимірювачів», і необхідно обережно підходити до опрацювання результатів експертизи, оскільки в цьому випадку думка одного (одиночного) експерта, який приділяє більше уваги дослідженню маловивченої проблеми, може виявитися найзначимішою, а при формальному опрацюванні вона буде втраченою.

Тому до задач другого класу повинне застосовуватися якісне опрацювання результатів. Використання методів усереднення (справедливих для достовірних «вимірювачів») у цьому випадку може привести до істотних помилок.

Задачі колективного прийняття рішень по формуванню цілей, удосконаленню методів і форм керування звичайно належать до першого класу. Однак при розробці прогнозів і перспективних планів доцільно виявляти «рідкісні» думки і піддавати їх ретельнішому аналізу.

Інша проблема, яку потрібно враховувати при проведенні системного аналізу, полягає в наступному: навіть у випадку розв'язання проблем, що належать до першого класу, не можна забувати про те, що експертні оцінки несуть у собі не лише вузькосуб'єктивні риси, що властиві окремим експертам, але і колективно-суб'єктивні риси, що не зникають при опрацюванні результатів опитування (а при необережному застосуванні Дельфі-процедур можуть навіть підсилюватися).

Отже, **експертні оцінки** — це певна «суспільна точка зору», що залежить від рівня науково-технічних знань суспільства щодо предмета дослідження і може змінюватися під час розвитку системи і наших уявлень про неї. Отже, експертне опитування — це не одноразова процедура. Такий спосіб одержання інформації про складну проблему, що характеризується великим ступенем невизначеності,

повинен бути певного типу «механізмом», вбудованим у складній системі, тобто необхідно створити регулярну систему роботи з експертами.

Метод Дельфі, чи «дельфійського оракула», спочатку був запропонований О. Хелмером і його колегами як ітеративна процедура при проведенні мозкової атаки, що сприяла б зниженню впливу психологічних факторів при повторенні засідань і підвищенню об'єктивності результатів. Однак майже одночасно Дельфі-процедури стали методом підвищення об'єктивності експертних опитувань з використанням кількісних оцінок при оцінці дерева цілей і при розробці сценаріїв.

Метод Дельфі був розроблений для розв'язання складних стратегічних проблем з метою отримання інформації про майбутнє, гранично зменшити вплив суб'єктивного фактора, стимулювати способи мислення спеціалістів шляхом створення інформаційної системи з оберненими зв'язками, усунути завади в обміні інформацією між фахівцями, тиск авторитету та інші форми тиску, забезпечити підвищення достовірності прогнозів шляхом спеціальних процедур кількісного оцінювання думок експертів та їх опрацювання.

У складніших варіантах методу Дельфі розробляється програма послідовних індивідуальних опитувань за допомогою анкет-запитальників, що виключають контакти між експертами, але передбачають ознайомлення їх з думками один одного між турами. Запитальники від туру до туру можуть уточнюватися. Для зниження впливу таких факторів, як пристосування до думки більшості, іноді потрібно, щоб експерти обґрунтовували свою точку зору, але це не завжди приводить до бажаного результату, і в деяких випадках навпаки, може підсилити ефект пристосування. У найрозвинутіших варіантах методу експертам присвоюють вагові коефіцієнти значимості їхніх тверджень, що обчислюються на основі попередніх опитувань, уточнюються від туру до туру і враховуються при одержанні узагальнених результатів оцінок.

На відміну від методу сценаріїв метод Дельфі передбачає попереднє ознайомлення фахівців з ситуацією за допомогою певної моделі, математично строгої або ж неформальної. Фахівцям пропонується оцінити структуру моделі загалом та дати пропозиції щодо невключених зв'язків. При цьому використовується анкетний метод з уніфікованими формами запитань, відповідей та оцінок.

Анонімність та можливість поповнити інформацію про предмет експертизи створюють умови, що забезпечують найпродуктивнішу працю експертної комісії. Крім того наявність зворотнього зв'язку, що реалізується в декілька турів, дозволяє експертам корегувати свої висловлювання з врахуванням проміжних усереднених оцінок та пояснень експертів, які висловили полярні точки зору.

В розповсюдженому варіанті методу Дельфі під час першого туру для експертів формулюється мета експертизи та перелік запитань у вигляді анкети, можливо з поясненням. Для складних систем пояснення може бути представлено у вигляді концептуальної моделі системи та характеру можливих відповідей. Оформлені результати-відповіді експертів на анкети — опрацьовуються аналітичною групою. Аналітична група визначає граничні точки зору — найвищі та найнижчі оцінки для кожної альтернативи, середнє значення, верхній та нижній квартилі. Віддаль між квартилями характеризує узгодженість точок зору експертів (аналог середньоквадратичного відхилення).

На другому турі експерти отримують наступну інформацію: усереднені оцінки альтернатив та обґрунтування (анонімні) граничних оцінок альтернатив, — та корегують у відповідності до неї попередні оцінки. Скорегована інформація опрацьовується аналітичною групою. Третій та четвертий тур за змістом не відрізняються від другого, при переході від туру до туру покращується узгодженість оцінок. Однак в деяких випадках думки експертів мають тенденцію до поляризації. Користь методу Дельфі в цьому випадку полягає у виявленні поляризованих точок зору у різних груп експертів.

Кількість турів визначається ступенем узгодженості між експертами та наявністю або відсутністю поляризації. Як показує досвід, зміна оцінок експертів наближає їх до дійсних значень, особливо якщо експерти відзначаються високим рівнем компетентності. Крім того, існує цілий ряд модифікацій методу Дельфі, які додатково дозволяють уточнювати результати експертних оцінок шляхом визначення відносного рівня компетентності експертів та розрахунку результатів експертизи лише для експертів з відносно високим рівнем компетентності; зменшити тиск на експертів за рахунок повідомлення експертам значень квартилів або децилів розподілу без значення медіани; послідовно розширювати коло експертів (переваги — відсутність тиску усередненої думки комісії, отримання більшої кількості інформації за рахунок аргументації оцінок експертами, недолік — чутливість до порядку підключення експертів).

Отже, основними особливостями методу Дельфі як достатньо надійного інструменту отримання експертної інформації є: анонімність висловлювань; обґрунтування думок експертів з граничними оцінками; наявність оберненого зв'язку, що реалізується за допомогою багатокрокового опитування.

Однак ці особливості виключають появу нових підходів до розв'язання проблеми, які можуть виникнути в ході дискусії — альтернативні оцінки проблеми формулюються анонімно, хоча, з іншого боку, це виключає можливість тиску. Існує ймовірність того, що достатньо суттєва інформація, якою може володіти учасник експертної групи, може бути невикористаною внаслідок обмеженості запитань анкети. Тому формування анкет повинно бути надзвичайно професійним та оперативним, щоб відреагувати на нову інформацію, отриману після чергового туру.

Для того, щоб запобігти появі «штучного консенсусу», коли в принципі є дві або більше достатньо різних точок зору на проблему, які в остаточному результаті зникають внаслідок багатьох турів, використовуються також модифікації методу Дельфі, які поляризують точки зору за певних умов, замість того, щоб прагнути зведення їх до одного спільного варіанту-консенсусу.

Перспективною є ідея розвитку методів експертних оцінок, запропонована у свій час В. М. Глушковим, яка полягає в тому, щоб сполучити цілеспрямоване багатоступінчасте опитування з «розгорненням» проблеми в часі, що стає цілком реалізованим в умовах алгоритмізації такої (досить складної) процедури і використання комп'ютерної техніки.

Для підвищення результативності опитувань і активізації експертів іноді сполучають метод Дельфі з елементами ділової гри: експерту пропонується проводити самооцінку, ставлячи себе на місце конструктора, якому реально доручено виконувати проект, чи на місце працівника апарату керування, керівника відповідного рівня системи організаційного керування і т. д.

Контрольні запитання.

- 1 Метод дерева цілей.
- 2 Метод Дельфі.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

ОСНОВНА ЛІТЕРАТУРА

1. Анфилатов В.С. и др. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2002.
2. Барышников А. А., Кузьмин А. М. Формы применения функционально-стоимостного анализа //«Машиностроитель», № 6, 2001.
3. Богданов А. А. Всеобщая организационная наука (тектология). В 3-х томах. М.: 1995. - Т 1-3.
4. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. Учебник, издание 2. СПб.: Изд-во СПбГГУ, 1999.
5. Вошинин А.П., Сотиров Г.Р. Оптимизация в условиях неопределенности. МЭИ-СССР, Техника: НРБ (книга+дискета), 1989.
6. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. -Л.: Энергоатомидат, 1992.
7. Дивак М.П., Гладій Г.М. Методичні вказівки до самостійного вивчення розділу "Використання методів інтервального аналізу для моделювання економічних систем" курсу "Системний аналіз". Тернопіль, ТІНГ, 1994.
8. Калянов Г.Н. CASE - структурний системний аналіз. -М.:Лори 1996. 242.
9. Катренко А.В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації. Навчальний посібник. Львів, "Новий світ-2000", 2003. 424 с.
10. Основы системного анализа и проектирования АСУ./ под. ред.А.А.Павлова. -К: Вища школа, 1991.
11. Перегудов Ф.И, Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. М: Высшая школа, 1992.
12. Саченко А.А., Володарский Е.Т. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплинам: "Системный анализ", "Основы планирования эксперимента". Тернополь, ТИНХ,1990.
13. Системный анализ и структуры управления./ под ред. В.Г.Щорина -М.: Знание, 1975.
14. Шарапов О.Д., Терехов Л.М., Сіднев С.П. Системний аналіз. К.: Вища школа, 1983
15. Nawryszkiewych I.T. Introduction to system analysis and design. New York, 1992. 379p.

ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

1. Акофф Р. Искусство решения проблем. М.: Мир, 1982.
2. Винер Н. Кибернетика. М.: Сов. Радио, 1968.
3. Винер Н. Кибернетика и общество. М.: ИЛ, 1958.
4. Горстко А.Б., Угольницкий Г.А. Введение в прикладной системный анализ. Ростов-на-Дону: Книга, 1996.
5. Келле В В Переосмысление системный методологии версия П Чекленда // Системные исследования Методологические проблемы Ежегодник, 1995—1996— М , 1996.
6. Губанов и др. Введение в системный анализ. Л.: Из-во ЛГУ, 1979.
7. Колесников Л. Основы теории системного подхода. К.: Наукова думка, 1995.
8. Котов В. Е. Сети Петри — М Наука, 1984
9. Кузьменко В., Романчук О. На порозі надцивілізації системний аналіз актуальних проблем сучасності, соціальне прогнозування та футурологія — Л. Універсум, 2001
10. Кузьмина Е. А., Кузьмин А. М. Функционально-стоимостный анализ Концепции й перспективи // «Методи менеджменти качества», № 8, 2002
11. Кузьмин А. М. История возникновения, развития й использования метода развертывания функции качества //«Методи менеджменти качества», № 1—2, 2002
12. Кухтенко А Й Кибернетика й фундаментальные науки — К Наукова думка, 1987
13. Кухтенко А.И. Кибернетика и фундаментальные науки. К.: Наукова думка, 1987.
14. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. М.: Наука, 1979.
15. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. М.: Физматлит, 1996.
16. Месарович М., Такахара И. Общая теория систем. Математические основы. М.: Мир, 1978.
17. Митичкин С. Образ мышления системного аналитика. 2003, <http://www.cfo.ru/article.htm#1>.
18. Одрин М.В., Картавов С.С. Морфологический анализ систем. К.: Наукова думка, 1977.

19. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. Пер. с англ. М.: Советское радио, 1969.
20. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.
21. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа. М.: Бизнес-Пресса, 2000.
22. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой. М.: Экономика, 1975.