

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКИЙ КОЛЕГІУМ»
імені Т.Г. ШЕВЧЕНКА**

ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Конспект лекцій

Чернігів НУЧК 2025

УДК 004:303.732.4 (075.8)
О-75

Укладачі:

Цибко Ганна Юхимівна, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри інформатики і обчислювальної техніки Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка

Горошко Юрій Васильович, доктор педагогічних наук, професор кафедри інформатики і обчислювальної техніки Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка

Цибко Г.Ю., Горошко Ю.В.

О-75 Основи системного аналізу. Конспект лекцій : Методичні рекомендації з дисципліни “Системний аналіз” / укладачі: Цибко Г.Ю., Горошко Ю.В. Чернігів: НУЧК, 2025, 117 с.

Затверджено вченою радою природничо-математичного факультету Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, протокол № 5 від 16 грудня.2024 р.

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій Ужгородського національного університету
Міца Олександр Володимирович

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри інформатики і обчислювальної техніки Національного університету “Чернігівський колегіум” імені Т.Г.Шевченка **Вінниченко Євгеній Федорович**

Методичні рекомендації складено для здобувачів освіти, які навчаються за освітніми програмами бакалаврського рівня природничо-математичного факультету НУЧК імені Т.Г.Шевченка. Основною метою посібника є формування у студентів понятійного апарату і основних теоретичних знань з дисципліни “Системний аналіз”.

ЗМІСТ

ОСНОВИ ТЕОРІЇ СИСТЕМ.....	4
КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ.....	32
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ.....	43
МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ.....	63
МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ.....	82
ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДОЛОГІЙ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ.....	100

Тема 1

ОСНОВИ ТЕОРІЇ СИСТЕМ

Сучасний системний аналіз (СА) – прикладна наука, яка орієнтована на прояснення причин виникнення проблем і на формування варіантів їх усунення.

Системний аналіз – це сукупність методологічних засобів, які використовуються для підготовки і обґрунтування рішень із складних проблем політичного, соціального, економічного, технічного і наукового характеру.

Основою СА є системний підхід і низка методів, математичних дисциплін і сучасної теорії управління.

Основна процедура СА – це побудова узагальненої моделі, яка відображає взаємозв'язки реальної ситуації.

Технічною основою є комп'ютери та інформаційні системи.

Поняття про системи та системний підхід

Слово *система* походить від грецького $\Sigma\beta\sigma\tau\eta\mu\alpha$ – *ціле, складене з частин*.

В іншому значенні – це *порядок*, визначений правильним розміщенням частин та їх взаємозв'язками.

Елементи системного світогляду виникли вже в античному світі.

З точки зору сучасних уявлень системність завжди, усвідомлено чи ні, була одним з методів науки — кожен вчений минулого неусвідомлено оперував з системами та моделями.

У сучасному житті активно вживаються терміни “система”, “системне мислення”, “системний підхід”, “системний аналіз”.

З точки зору філософії система – множина елементів, які знаходяться у відношеннях і зв'язках між собою, завдяки чому утворюється певна цілісність, єдність.

Можна назвати багато різних систем: біологічні, бюрократичні, відліку, екологічні, економічні, зв'язку, знакові, інформаційні, кровоносні, обробки даних, обчислювальні, одиниць вимірювання, опалювальні, планетні, поглядів і переконань, показників, політичні, правові, Сонячна, соціальні, управління, фізичні, фінансові, хімічні та безліч інших.

Приклади: Вода має властивості, яких не мають ані водень, ані кисень, що утворюють воду.

Можливо, автомобіль і зможе пересуватися без якихось своїх частин, однак жодна його деталь або вузол не зможуть виконати функцію автомобіля в цілому – перевозити людей або вантаж з т. А в т. Б.

Усі види ссавців мають стандартний набір органів, але неповторно різняться своїми формами і функціями. Це означає, що подібні компоненти можуть утворювати зовсім різні системи. Система – це ціле, що більше суми його частин, за визначенням древніх філософів, а за визначенням сучасних економістів – система, це коли $2+2=5$.

Розвиток науки спричинив виникнення таких понять як “великі системи”, “складні системи”, “ієрархічні системи”. Їх вивчення пов'язане з необхідністю розробки загальних понять, категорій і методів дослідження.

Системний підхід - принцип пізнавальної й практичної діяльності людей.

Він направляє людину на системне бачення дійсності, тобто змушує розглядати світ з системних позицій.

Системний підхід полягає в тому, що досліджуваний об'єкт описують як сукупність взаємодіючих компонентів.

Системний підхід – ефективний спосіб розумової діяльності, що забезпечив значні відкриття в науці, винаходи в техніці та досягнення у виробництві в другій половині ХХ ст.

Без системного підходу не обходиться у наш час жодна сфера високопрофесійної діяльності.

Розвиток ідей системного підходу

Історія розвитку системного підходу 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.

I. Питання про науковий підхід до керування складними системами вперше в конкретному вигляді було поставлене *Андре-Марі Ампером* в його роботі «Дослідження філософії наук, або аналітичний виклад класифікації всіх людських знань» (част. I — 1834 р., II — 1843 р.), в якій була виокремлена наука про керування державою, названа кібернетикою.

II. Польський філософ *Броніслав Трентовський*, професор Фрайбургського університету, видав у 1843 р. книгу «Ставлення філософії до кібернетики як до мистецтва керування народом».

Особливістю цієї праці було відображення наукових основ практичної діяльності керівника – «гібернета». Сенс грецького слова $\chi\omicron\upsilon\beta\epsilon\rho\nu\omega$ (гіберно) був добре зрозумілий ще в ХІХ-му сторіччі — адміністративна одиниця, населена людьми. В ширшому сенсі — об'єкт керування, до складу якого входять люди, а $\chi\omicron\upsilon\beta\epsilon\rho\nu\epsilon\tau$ (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. Вчений демонструє розуміння та усвідомлення системності людських колективів, груп, розуміння складності керування людьми.

III. Наступний етап у вивченні системності як самодостатнього предмета пов'язаний з прізвищем економіста *Олександра Богданова* (справжнє прізвище — Малиновський), який протягом 1911-1925 рр. видав 3 томи книги «Загальна організаційна наука (тектологія)».

На його думку, 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 математика *Норберта Вінера*.

Його праця «Кібернетика», опублікована 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 20 ст. 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.

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 противагу до поелементного, редукаціоністського підходу.

Реалізуються спроби оцінки рівнів складності та способів взаємодії і взаємних стосунків між компонентами досліджуваної системи.

Широко використовуються математичні моделі для визначення подібності 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.

Розвиток системної технології стосовно технічних систем дозволив започаткувати новий науковий напрямок – *системотехніку*. Системотехніка виникла у США на початку 50-х років 20 ст. і описує своєрідні «правила поведінки» інженера, що конструює складні системи. Основними завданнями системотехніки є:

- виявлення та опис найзагальніших системних характеристик та закономірностей, що не залежать від конкретного типу технічних комплексів;
- розробка експериментальних методів, що дозволяють з достатнім рівнем достовірності та за умови прийнятної кількості ресурсів оцінити теоретичні концепції;

– розробка методів реалізації принципів системотехніки при створенні та використанні конкретних систем.

Серед загальнофілософських підходів, які суттєво вплинули на формування принципів системного підходу, виділяють такі: логічний позитивізм, аналітична дедукція, редуccionізм, казуальна (причинна) логіка, індуктивний підхід. Розглянемо переваги зазначених підходів і виклики, що вони породжують.

+ *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 тому 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*. Відповідно до детерміністської концепції, спостереження (колишні стани системи) разом із законами природи визначають її майбутній стан.

Редуccionізм 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.).

Галузеві теорії систем досліджують специфіку систем різної природи (фізичних, хімічних, біологічних, економічних, соціальних).

Спеціальні теорії систем вивчають зокрема теорії перехідних систем, теорії еволюції систем тощо.

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, передавання даних та інформації із застосуванням комп'ютерної техніки.

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

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

Основні поняття теорії систем

Підходи до визначення системи

Термін “система” використовується у тих випадках, коли треба охарактеризувати об'єкт, який досліджується чи проектується як дещо ціле, складне, про який неможливо одразу отримати просте уявлення.

Існує понад 30 визначень системи. В енциклопедіях система визначається прямим перекладом з грецької мови як об'єднання частин.

Найбільш відомі визначення системи такі:

Система – це множина елементів, що знаходяться в певних спів-відношеннях і зв'язках один з одним, взаємодіють між собою, утворюють певну цілісність, як ціле взаємодіють із навколишнім середовищем.

Система – це сукупність елементів, яка має нові властивості, відсутні у кожного елемента.

Система – це сукупність засобів вирішення проблеми.

Ці та інші визначення системи характеризують різні підходи до розгляду систем, аналізу закономірностей їх розвитку та функціонування.

Розрізняють матеріальні й абстрактні (ідеальні) системи.

Матеріальні системи – це системи, утворені засобами матеріального світу.

Приклади. Системи неживої природи (природні утворення: атоми, молекули, астрономічні об'єкти, хімічні сполуки та системи, створені людиною), системи живої природи (біологічні організми, популяції, екосистеми) і соціальні системи (етнос, нація, держава, партії та ін.).

Матеріальні системи можуть бути створені людьми або природними утвореннями, які існують незалежно від людини. Перші системи називають *штучними*, другі *природними*. Проміжне положення займають *змішані* системи.

Абстрактні (ідеальні) системи – це системи, створені нашим мисленням, продукти розумової діяльності. До них відносяться мови, знакові системи, наукові й релігійні теорії тощо.

Властивості систем

Характерними ознаками системи вважаються

- цілісність;
- якісна визначеність;
- відмежованість відносно середовища;
- гетерогенність і структурованість;
- взаємодія частин системи між собою;
- взаємодія і зв'язок з навколишнім середовищем;
- наявність інтегральних характеристик;
- емерджентність;
- наявність цілей та їх сукупності, цілеспрямованість.

Цілісність означає, що система - це об'єднання частин, яке по відношенню до навколишнього оточення виступає як одне ціле.

Якісна визначеність означає, що система - це така сукупність елементів, яка має свої якісні ознаки, характерні тільки для даної системи і відсутні в інших системах. Ці ознаки проявляються тільки у цій системі. Вони визначають відношення до інших систем.

Відмежованість системи від середовища означає, що всяка система має свої межі. Межі відокремлюють систему від навколишнього середовища. Вони визначають, що входить в систему і що в неї не входить, є зовнішнім по відношенню до системи. Визначення меж системи має особливості і їх необхідно враховувати при визначенні та дослідженні систем. Це стосується й інших характеристик системи.

Гетерогенність і структурованість системи. Під *гетерогенністю* розуміють неоднорідність, те, що система складається з різних частин.

У визначенні системи вказано, що система - це сукупність елементів. Але система - це не проста сукупність.

Структурованість означає, що система є певним чином організованою сукупністю, має певну структуру.

Світ являє собою певну сукупність структур, організованих на різних рівнях і взаємопов'язаних між собою. Всяка система також має певну структуру. Ця структура забезпечує об'єднання елементів системи таким чином, щоб дане об'єднання мало свою якісну визначеність, цілісність.

Гетерогенність - більш вузьке поняття, воно просто означає неоднорідність складу, наявність складових частин.

Взаємодія частин системи між собою означає, що в системі частини взаємодіють між собою і тільки у даній взаємодії вони утворюють певну систему.

Взаємодія з навколишнім середовищем означає, що система як ціле взаємодіє з іншими системами.

Це зумовлене цілісністю системи, якісною визначеністю. Під час взаємодії з навколишнім середовищем виявляються властивості системи.

За характером взаємодії розрізняють *відкриті* й *закриті* системи.

Відкрита система - це система, яка активно обмінюється з навколишнім середовищем речовиною, енергією та інформацією.

У *закритій* системі такий обмін обмежений або відсутній. Поняття відкритості системи має велике значення при вивченні питання розвитку й життєвого циклу системи.

Для закритих систем характерні процеси старіння.

У термодинаміці - дисципліні, що вивчає явища передачі енергії, процеси старіння визначаються зростанням ентропії.

Ентропія – це характеристика, яка показує ступінь безладу системи, її невпорядкованість, хаотичність.

Відповідно до другого начала термодинаміки в усіх закритих системах ентропія може тільки зростати. У результаті цього закриті системи прагнуть до дифузного, невпорядкованого стану. У них зникає будь-яка структурованість, зникають будь-які процеси передачі енергії, матерії. Цей стан називають “тепловою смертю”.

Зростання ентропії - універсальний закон природи, яким зумовлені процеси старіння, розпаду, загибелі замкнених систем. На відміну від замкнених систем у відкритих системах крім процесів зростання ентропії є процеси, які приводять до її зменшення, до зростання організованості й впорядкованості системи.

Інтегрованість означає, що в системі властивості окремих елементів об'єднуються і виступають разом у новій якості.

Емерджентність – це поява нових якостей, не властивих елементам, що складають систему.

Кожна система є сукупністю певних частин, певних елементів. Особливістю системи є те, що в результаті об'єднання декількох елементів і утворення системи з'являються нові властивості, яких не має жоден елемент до створення системи. Ця властивість системи і називається емерджентністю. Емерджентність (від англ. emergence – виникнення, поява нового) означає, що

властивості системи не зводяться до властивостей елементів, з яких вона складається.

Емерджентність системи може характеризувати ступінь *організованості* системи. Чим більше характеристики системи відрізняються від характеристик елементів, з яких вона утворена, тим більш організованою є система.

Величина емерджентності не має числового вираження і характеристика може бути тільки якісною.

Приклади. Досить високо організованою системою є комп'ютер. Його властивості суттєво відрізняються від властивостей елементів, які входять до його складу, а саме мікросхем, вимикачів, елементів пам'яті, з'єднувальних провідників тощо.

Якщо розглядати живі організми, то ступінь їх організованості значно вищий, оскільки неможливо звести характеристики організму до характеристик окремих частин організму.

Наявність цілей, цілеспрямованість – одна з головних ознак системи. Кожна система має певну ціль існування або створена для певної цілі. У системи може бути одна мета або сукупність цілей. У випадку сукупності цілей всі вони утворюють певну ієрархію, в якій є головні, першочергові цілі й другорядні, підпорядковані головним.

Визначення цілей системи є завданням, що має свої особливості. Цілі по-різному визначаються для систем штучного походження й природних систем.

Штучні системи, системи, створені людиною, завжди *мають суб'єктивні цілі*, тобто цілі, поставлені суб'єктом, який створив систему.

Наприклад, телевізор створений для прийому та відображення інформації. Автомобіль створений для перевезення людей і вантажів.

Досить точно та однозначно сформулювати ціль штучних систем подекуди буває важко.

Природні системи мають об'єктивні цілі. Зрозуміти ці цілі не завжди просто. Ще важче їх сформулювати.

Наприклад, як сформулювати ціль існування людини?

Під час вирішення питання визначення цілей системи допомагає поділ цілей на суб'єктивні й об'єктивні.

Суб'єктивні цілі – це цілі, для яких створена система певним суб'єктом.

Об'єктивні цілі – це стан ідеального майбутнього, до якого прагне система в своєму життєвому циклі.

Як правило, таким майбутнім є продовження роду, зростання, розвиток системи. Структура системи, її склад, взаємодія частин завжди визначаються ціллю системи.

Основні поняття теорії систем

Основні поняття, що характеризують систему, розглядатимемо, попередньо об'єднавши їх у дві групи: поняття, що характеризують будову системи, і поняття, що характеризують функціонування та розвиток системи (Рис. 1.2.)

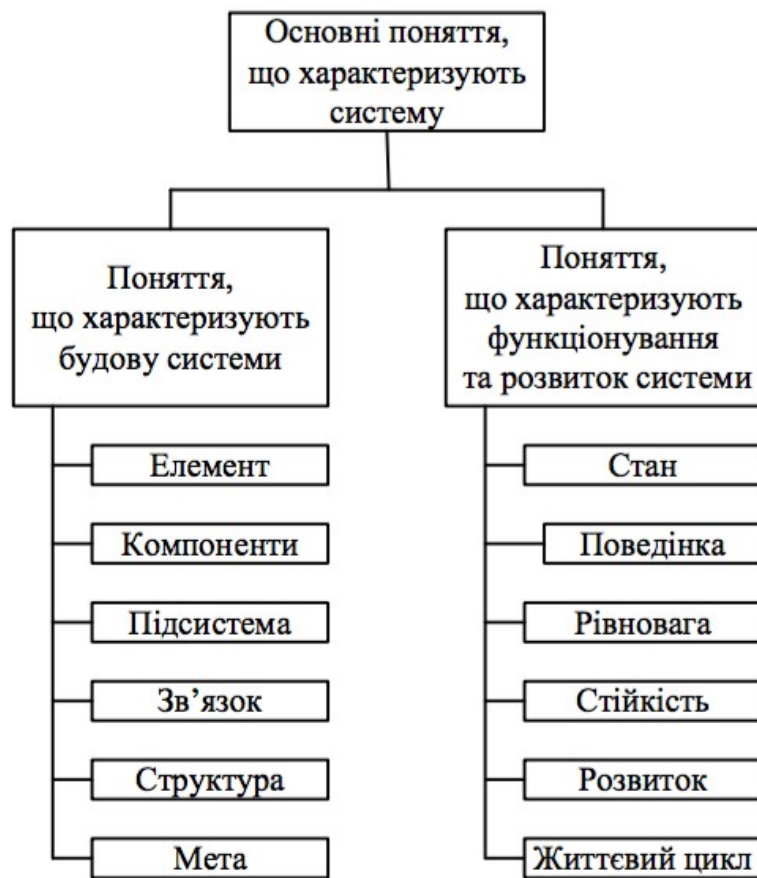


Рис. 1.2. Основні поняття, що характеризують систему

Поняття, що характеризують будову системи.

Система

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).

Визначення такого типу походять від природничих наук, 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, яка є особливою єдністю з середовищем та є елементом «надсистеми», і цій цілісності притаманні такі властивості, мета цілі та функції, які не властиві окремим елементам.

Елементи

Система – це сукупність елементів (підсистем). За певних умов елементи можна розглядати як системи, а досліджувану систему – як елемент більш складної системи.

Об'єкт пізнання – частина реального світу, яку виділяють і сприймають за єдине ціле впродовж тривалого часу. Об'єкт може бути матеріальним і абстрактним, природним і штучним. Реально об'єкт має нескінченний набір властивостей різної природи.

Елемент – найпростіша неподільна частина системи.

Систему можна поділити на елементи різними способами залежно від завдання. За необхідності можна змінювати принцип поділу, виділяти інші елементи і так одержувати більш адекватне уявлення про аналізований об'єкт або проблемну ситуацію.

Якщо елементами системи є поняття, пов'язані певними відношеннями, - кажуть про *символічні (абстрактні) системи* (мови, системи числення, алгоритми тощо). *Реальні (речові, фізичні) системи* містять у собі щонайменше два фізичних об'єкти. Створення реальної системи означає, що її синтезують з деяких компонентів у такому порядку: задум системи, аналіз і виділення компонентів, конструювання компонентів, об'єднання компонентів у єдине ціле.

Середовище

Середовище – це сукупність всіх об'єктів, що 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*.

Зв'язки

Зв'язки між елементами в системі перевершують за силою зв'язки цих елементів з елементами, що не входять у систему. Ця властивість дає можливість виділити систему з середовища.

Зв'язок – це елементи, які здійснюють безпосередню взаємодію між елементами (або підсистемами) системи, а також з елементами і підсистемами оточення. Це поняття входить до будь-якого визначення системи і забезпечує виникнення і збереження структури та цілісних властивостей системи, характеризує як її *будову (статика)*, так і *функціонування (динаміку)*.

Система – це *сукупність (множина) окремих об'єктів зі зв'язками між ними*.

Якщо можна виявити хоча б два таких об'єкти: вчитель і учень у процесі навчання, продавець і покупець у торгівлі, телевізор і передавальна станція в телебаченні тощо – то це вже є система.

Зв'язок визначають як обмеження ступеня свободи елементів.

Дійсно, елементи, вступаючи у взаємодію (зв'язок) між собою, втрачають частину своїх властивостей, які вони потенційно мали у вільному стані.

У визначеннях системи терміни зв'язок і відношення зазвичай використовують як синоніми.

Зв'язки можна охарактеризувати *напрямком, силою, характером (або видом)*.

За *напрямком* зв'язки поділяють на направлені і ненаправлені зв'язки.

За *силою* – сильні та слабкі.

За *характером (видом)*:

- зв'язки підпорядкування,
- зв'язки породження (або генетичні),
- рівноправні (чи байдужі) зв'язки,
- зв'язки управління.

Важливе значення в моделюванні систем має поняття *зворотного зв'язку*

Зворотний зв'язок може бути *додатним*, який зберігає тенденції зміни того чи іншого вихідного параметра в системі, і *від'ємним* – протидіє тенденціям зміни вихідного параметра, тобто спрямований на збереження, стабілізацію необхідного значення параметра (наприклад, стабілізацію вихідної напруги).

Зворотний зв'язок є основою саморегулювання, розвитку систем, пристосування їх до мінливих умов існування.

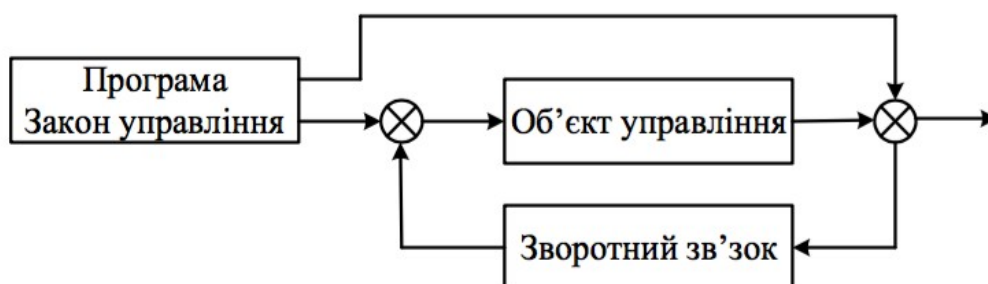


Рис. 1.3. Схема зворотного зв'язку

Мета

Система завжди має цілі, для яких вона функціонує і існує. Поняття «мета» і пов'язані з ним поняття цілеспрямованості, доцільності лежать в основі розвитку системи.

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 на багато природних та штучних систем. Пізнання мети допомагає зрозуміти сутність систем, що досліджуються. Мета може змінюватися залежно від розвитку 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.

Мета конкретизується шляхом декомпозиції за допомогою цілей.

Декомпозиція – це поділ системи на частини з метою зробити зручнішими певні операції з цією системою. Суттю декомпозиції є спрощення системи, надмірно складної для розгляду цілком.

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 визначених 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.

Компоненти і підсистеми

Під час багаторівневого поділу системи використовують терміни підсистеми або компоненти.

Поняття ***підсистема*** передбачає, що виділяють відносно незалежну частину системи, що має властивості системи і, зокрема, має ***підмету***, на досягнення якої спрямована підсистема, а також інші властивості – властивість цілісності, комунікативності тощо.

Якщо ж частини системи не мають таких властивостей, а являють собою просто сукупності однорідних елементів, то такі частини прийнято називати ***компонентами***.

Виділення підсистем залежить від мети і може змінюватися в міру її уточнення та розвитку уявлень дослідника про об'єкт.

Структура

Структура – це стійка множина відношень, яка зберігається тривалий час незмінною, принаймні впродовж інтервалу спостереження.

Систему можна подати:

- простим перерахуванням елементів,
- заданням властивості належності до деякої множини,
- послідовним розчленуванням на підсистеми, компоненти, елементи зі взаємозв'язками між ними.

В останньому випадку вводять поняття «структура», яке відображає найбільш істотні взаємозв'язки між елементами та їх групами. Такі взаємозв'язки забезпечують існування системи та її основних властивостей.

Структура може бути подана графічним зображенням, теоретико-множинним відношенням, у вигляді матриць. Вид подання системи залежить від мети відображення.

Структура системи — одна з основних категорій системного аналізу, що характеризує стійку впорядкованість у просторі і в часі елементів і зв'язків системи.

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, необхідному для реалізації певних функцій. Отже, функція є первинною щодо структури.

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

З точки зору практики подання 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 *зворотний зв'язок*. Поняття зворотного зв'язку відіграє важливу роль у моделюванні систем. Зворотний зв'язок виконує регулювальну роль у системі.

Він може бути позитивним чи від'ємним. Позитивний зворотний зв'язок зберігає тенденції до змін того чи іншого вихідного параметра, які відбуваються в системі. Негативний протидіє тенденціям до його зміни, тобто спрямований на збереження необхідного значення цього параметра (наприклад, обсягу виробництва на підприємстві, напрямку руху літака тощо). Зворотний зв'язок є основою саморегулювання, розвитку систем, адаптації їх до мінливих умов існування.

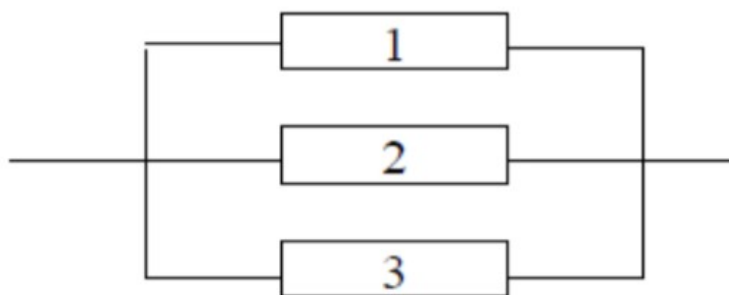
Класифікація структур за топологією зв'язків

Можливості структури розкриваються її топологічними ознаками.

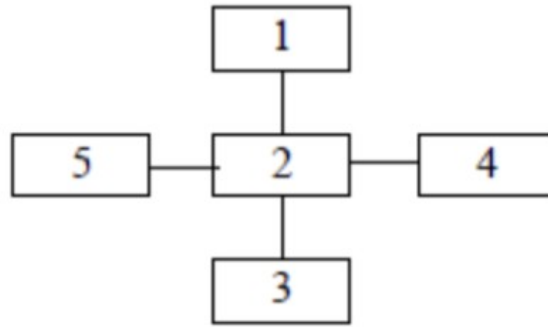
За топологією внутрішніх зв'язків вирізняють такі структури: послідовні, паралельні, радіальні, кільцеподібні, структури типу повний граф, деревоподібні, незв'язані.



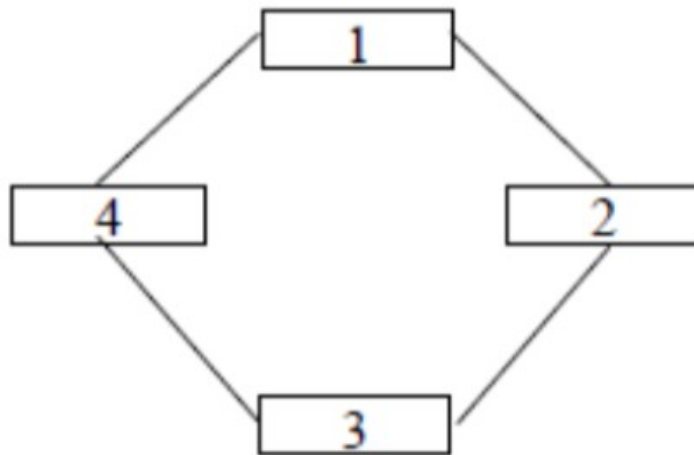
а) послідовна структура



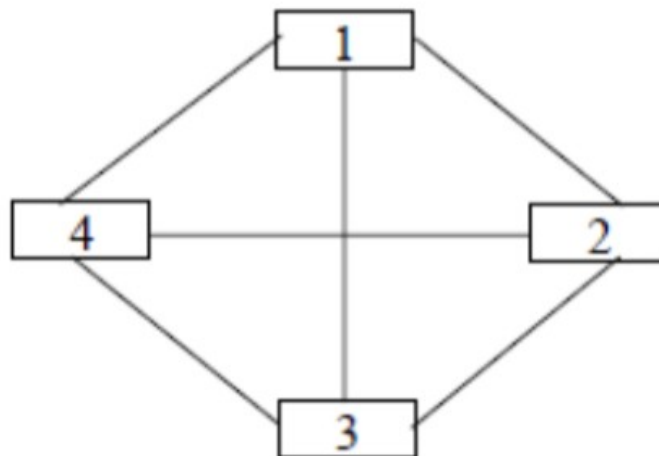
б) паралельна структура



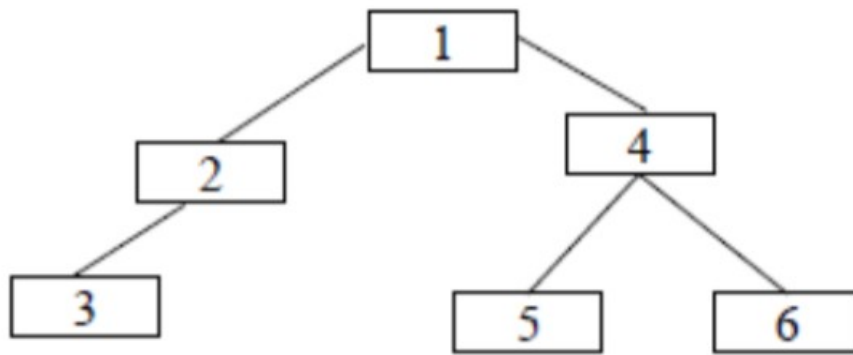
с) радіальна структура



d) кільцеподібна структура



е) кільцеподібна структура повний граф



f) деревоподібна структура



g) незв'язана структура

Рис. 1.4. Класифікація структур за топологією зв'язків

Класифікація структур за зв'язками управління

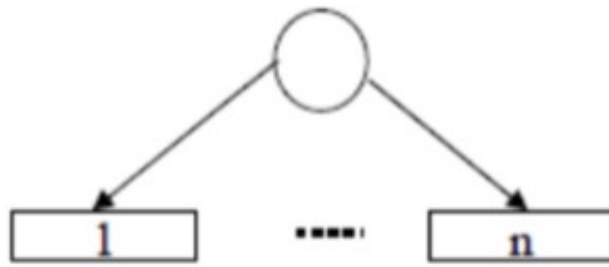
Іншою поширеною класифікаційною ознакою структур є її організація з точки зору управління.

Для розгляду структур за управлінням введемо позначення:

○ - орган управління

□ - об'єкт управління

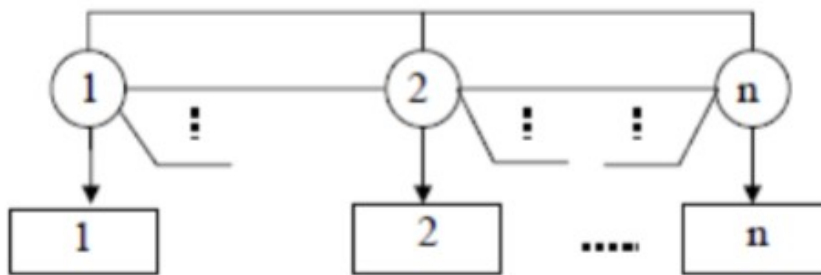
За управлінням структури класифікують на: централізовані, децентралізовані, централізовано-розподілені, ієрархічні.



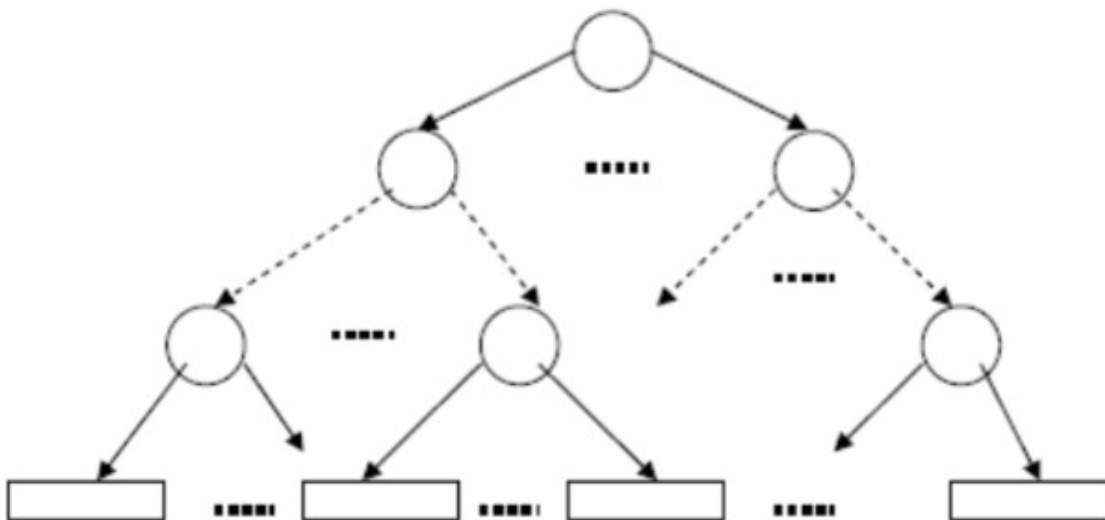
a) централізована структура



b) децентралізована структура



c) централізовано-розподілена структура



d) ієрархічна структура

Рис. 1.5. Класифікація структур за зв'язками управління

Централізована структура передбачає реалізацію всіх 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.

Ієрархічна структура - це структура з підпорядкованістю, тобто з нерівноправними зв'язками. у ієрархічній структурі розв'язується проблема організації інформаційної взаємодії розподіленого органу управління.

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 найбільш консервативною 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:

1. встановлення зв'язків, тобто чи є зв'язок, чи він відсутній;
2. встановлення напрямку;
3. 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;
- топологічна декомпозиція 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 третьому етапі визначають місцеві та загальні контури управління, проводять декомпозицію зв'язків, будують оператори з'єднання елементів структури із розщепленими зв'язками.

Функція

Функція – це діяльність, робота, зовнішній прояв властивостей будь-якого об'єкта в даній системі відношень.

Властивості

Функції класифікують за різними ознаками залежно від цілей дослідження.

Властивості – це якості параметрів об'єктів, тобто зовнішні прояви того способу, за допомогою якого одержують знання про об'єкт.

Властивості дають можливість описувати об'єкти системи кількісно, виражаючи їх в одиницях, що мають певну розмірність. Водночас вони можуть змінюватися в результаті функціонування системи.

Поняття, що характеризують функціонування та розвиток систем

Процеси, що відбуваються в складних системах, зазвичай не вдається навести відразу у вигляді математичних співвідношень або хоча б алгоритмів.

Тому для того, щоб хоч якось охарактеризувати стабільну ситуацію або її зміни, використовують спеціальні терміни, запозичені теорією систем із теорії автоматичного регулювання, біології, філософії тощо.

Розглянемо основні з цих термінів.

Входи. Виходи. Зворотний зв'язок

Входи системи $x(t)$ – це різні точки прикладання впливу зовнішнього середовища на систему. Входами системи можуть бути інформація, речовина, енергія тощо, які підлягають перетворенню.

Виходи системи $y(t)$ – це різні точки прикладання впливу системи на зовнішнє середовище. Вихід системи є результатом перетворення інформації, речовини та енергії.

Зворотний зв'язок з'єднує вихід зі входом системи й використовується для контролю за зміною виходу.

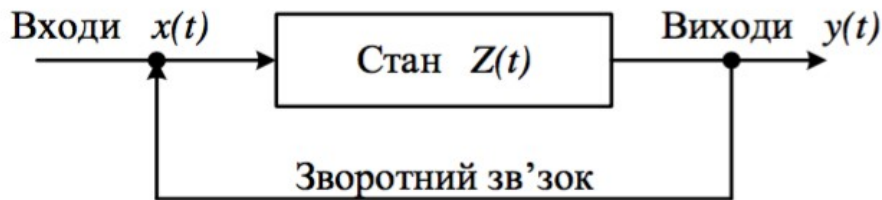


Рис.1.6. З'єднання входів і виходів системи за допомогою зворотнього зв'язку

Обмеження системи визначає умови її функціонування (реалізацію процесу) та забезпечує відповідність між виходом системи та вимогою до нього. Обмеження бувають *внутрішніми* та *зовнішніми*.

Одним із зовнішніх обмежень є мета функціонування системи.

Прикладом внутрішніх обмежень можуть бути ресурси, що забезпечують реалізацію того чи іншого процесу.

Стан

Стан — це миттєва фотографія, «зріз» системи.

Стан визначають або через входні дії та вихідні сигнали (результати), або через макропараметри, макровластивості системи (тиск, швидкість, прискорення). Так говорять про стан спокою (стабільні входні впливи та вихідні сигнали), про стан рівномірного прямолінійного руху (стабільну швидкість) тощо.

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.

Реальна система не може перебувати в будь-якому стані. Завжди є певні обмеження – деякі внутрішні і зовнішні фактори (наприклад, людина не може жити 1000 років). Можливі стани реальної системи утворюють у просторі станів системи деяку підобласть – множину допустимих станів системи.

Процес

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 підпроцесів, 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.

Рух

Рух системи – це процес послідовної зміни її стану.

Вимушений рух системи – зміна її стану під впливом зовнішнього середовища.

Приклад вимушеного руху - переміщення ресурсів за наказом (надійшов у систему ззовні).

Власний рух – зміна стану системи без впливу зовнішнього середовища (лише під дією внутрішніх причин).

Власним рухом системи «людина» буде її життя як біологічного (а не суспільного) індивіда, тобто харчування, сон, розмноження.

Поведінка

Поведінка системи – процес цілеспрямованої зміни в часі стану системи. Вона описує характер руху системи. Якщо система здатна переходити з одного стану до іншого, кажуть, що вона має поведінку.

Рівновага

Рівновага - здатність системи за відсутності зовнішніх збурювальних впливів (або за постійних дій) зберігати свій стан як завгодно довго. Цей стан називають станом рівноваги.

Стійкість

Стійкість - здатність системи повертатися в стан рівноваги після того, як вона була з цього стану виведена під впливом зовнішніх або внутрішніх збурювальних впливів.

Стан рівноваги, в який система здатна повертатися, називають *стійким станом рівноваги*. Повернення в цей стан може супроводжуватися коливальним процесом.

В складних системах можливі нестійкі стани рівноваги.

Прості системи мають пасивні форми стійкості: міцність, збалансованість, керованість, гомеостаз. А для складних систем визначальними є активні форми стійкості: надійність, живучість і здатність до адаптації.

Надійність – властивість збереження структури систем, незважаючи на загибель окремих її елементів, за допомогою їх заміни або дублювання.

Живучість – властивість системи зберігати обмежену працездатність в умовах зовнішніх впливів, що призводять до відмов її складових частин.

Надійність є більш пасивною формою, ніж живучість.

Здатність до адаптації – це властивість змінювати поведінку або структуру з метою збереження, поліпшення або придбання нових якостей в умовах зміни зовнішнього середовища. Обов'язковою умовою можливості адаптації є наявність зворотних зв'язків.

Розвиток

Розвиток – незворотна, спрямована, закономірна зміна матерії та свідомості. У результаті виникає нова якість або стан об'єкта.

Це поняття допомагає пояснити складні термодинамічні та інформаційні процеси в природі та суспільстві.

Дослідження процесу розвитку, співвідношення розвитку та стійкості, вивчення основних механізмів є найбільш складними завданнями теорії систем.

Життєвий цикл – період часу від виникнення потреби в системі та її становлення до зменшення ефективності функціонування системи та її «смерті» або ліквідації.

Морфологічний та інформаційний опис системи

Опис (специфікація) системи – це опис усіх її елементів (підсистем), їх взаємозв'язків, мети, функцій при деяких ресурсах, тобто всіх допустимих станів.

Морфологічний опис системи – опис будови або структури системи: опис сукупності A елементів цієї системи і необхідного для досягнення мети набору відносин R між ними. Морфологічний опис задається кортежем:

$$S = \langle A, B, R, V, Q \rangle,$$

де A – множина елементів і їх властивостей;

B – множина відносин з навколишнім середовищем;

R – множина зв'язків в A ;

V – структура системи, тип цієї структури;

Q – опис, подання системи якоюсь мовою.

З морфологічного опису системи отримують **функціональний опис системи** (тобто опис законів функціонування, еволюції системи), а з нього – **інформаційний опис системи** (опис інформаційних зв'язків як системи з навколишнім середовищем, так і підсистем системи) або ж так звану інформаційну систему, а також інформаційно-логічний опис системи.

Морфологічний опис системи залежить від зв'язків, що враховуються, їх глибини (зв'язки між головними підсистемами, між другорядними підсистемами, між елементами), структури (лінійна, ієрархічна, мережева, матрична, змішана), типу (прямий зв'язок, зворотний зв'язок), характеру (позитивна, негативна).

Інформаційний опис системи часто дозволяє отримувати додаткову інформацію про систему, витягувати нові знання про систему, вирішувати інформаційно-логічні завдання, досліджувати моделі систем.

Дві системи називають **еквівалентними**, якщо вони мають однакові цілі, складові елементи, структуру. Між такими системами можна встановити зв'язок (зв'язки) деяким конструктивним чином.

Управління в системі та управління системою

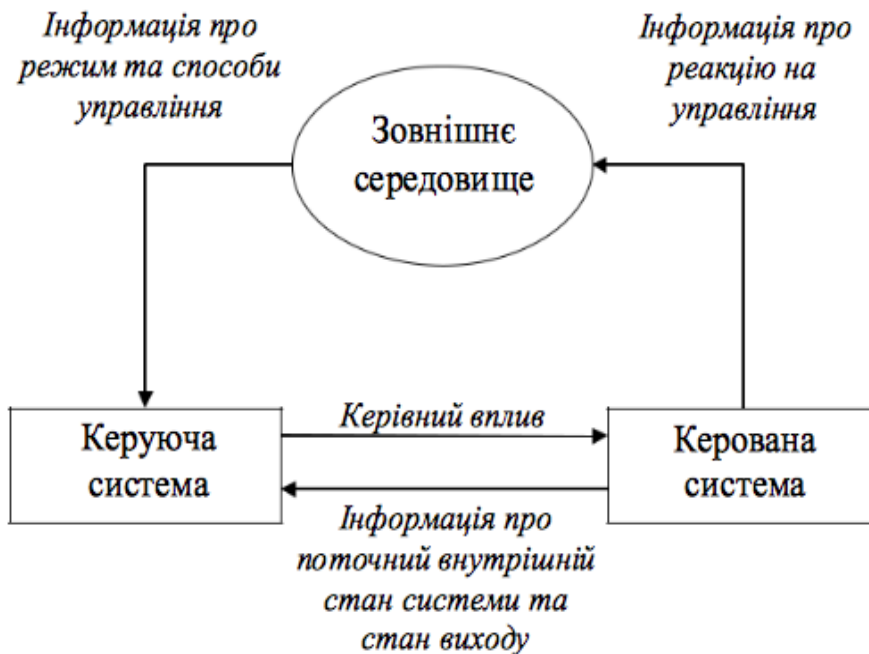
Управління в системі – внутрішня функція системи, здійснювана в системі незалежно від того, у який спосіб, якими елементами системи вона повинна виконуватися.

Управління системою – виконання зовнішніх функцій управління, що забезпечують необхідні умови функціонування системи.

Важливий аспект управління системою безпосередньо виражається через **принцип Ешбі (принцип необхідної різноманітності)**:

керуюча система повинна мати вищий рівень організації (більша різноманітність, більший вибір), ніж керована система, тобто різноманіття може бути кероване (зруйновано) лише різноманіттям.

Загальна схема управління системою



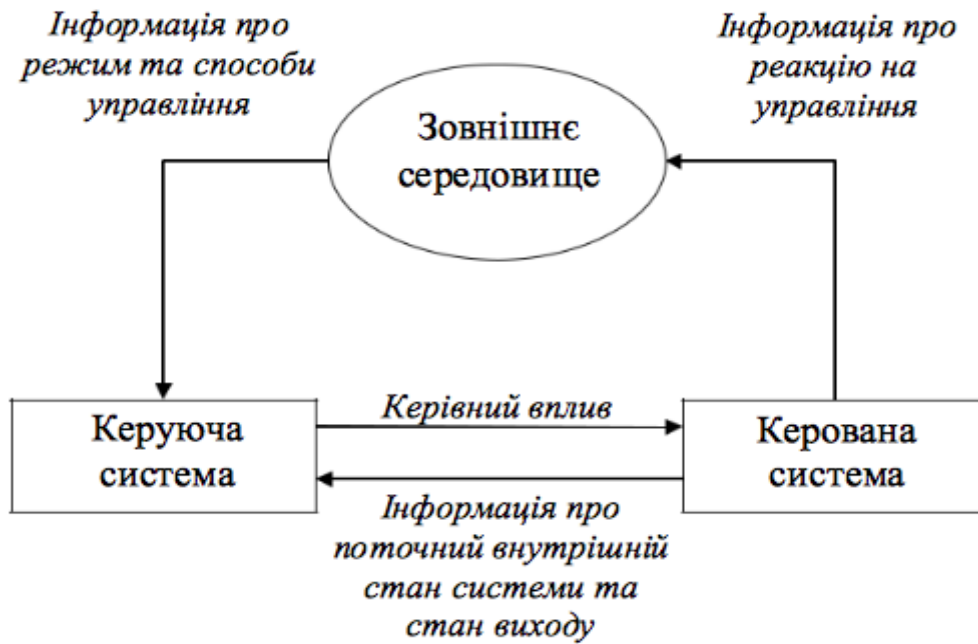


Рис. 1.7. Загальна схема управління системою Управління системою (у системі) використовується з метою реалізації таких цілей:

- 1) збільшення швидкості передачі повідомлень;
- 2) збільшення обсягу переданих повідомлень;
- 3) зменшення часу обробки повідомлень;
- 4) збільшення ступеня стиснення повідомлень;
- 5) збільшення (модифікація) зв'язків системи;
- 6) збільшення інформації (інформованості).

Функції і завдання управління системою є такими:

1. Організація системи – це повне, якісне виділення підсистем, опис їх взаємодій і структури системи (як лінійної, так і ієрархічної, мережевої або матричної).
2. Прогнозування поведінки системи, тобто дослідження майбутнього системи.
3. Планування (координація в часі, у просторі, за інформацією) ресурсів і елементів, підсистем і структури системи, необхідних (або достатніх – у разі оптимального планування) для досягнення мети системи.
4. Облік і контроль ресурсів, що забезпечують ті чи інші бажані стани системи.
5. Регулювання – адаптація і пристосування системи до змін зовнішнього середовища.
6. Реалізація тих чи інших спланованих станів, рішень.

Функції і завдання управління системою є такими:

1. Організація системи – це повне, якісне виділення підсистем, опис їх взаємодій і структури системи (як лінійної, так і ієрархічної, мережевої або матричної).
2. Прогнозування поведінки системи, тобто дослідження майбутнього системи.
3. Планування (координація в часі, у просторі, за інформацією) ресурсів і елементів, підсистем і структури системи, необхідних (або достатніх – у разі оптимального планування) для досягнення мети системи.
4. Облік і контроль ресурсів, що забезпечують ті чи інші бажані стани системи.
5. Регулювання – адаптація і пристосування системи до змін зовнішнього середовища.
6. Реалізація тих чи інших спланованих станів, рішень.

Рекомендовані джерела

1. Горбань О.М., Бахрушин В.Є. Основи теорії систем і системного аналізу: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ГУ “ЗІДМУ”, 2004. – 204 с.
2. Навчальний посібник з дисципліни «Системний аналіз» для здобувачів спеціальності 122 – Комп’ютерні науки / Укл.: В.М. Тонконогий, В.О. Вайсман, Л.В. Бовнегра, К.Г. Кіркопуло. Одеса: Нац. ун-т «Одеська політехніка», 2022. – 84 с.
3. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 171 с.
4. Міца О.В., Лавер В.О. Системний аналіз : навч.-метод. посіб. / О.В. Міца, В.О. Лавер. – Ужгород : вид-во ПП «АУТДОР - ШАРК», 2021. – 63 с.
5. Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. Посібник / К.О. Сорока. – ХНАМГ:, 2004. – 291 с.
6. Шушура О.М., Шатохіна Н.К. Системний аналіз : навч. посіб. / О.М. Шушура, Н.К. Шатохіна. – К. : Редакційно-видавничий центр Державного університету телекомунікацій, 2019. – 63 с.

Запитання і завдання для самостійної роботи

Дайте письмові або усні відповіді.

1. Чому сучасне суспільне виробництво потребує необхідності використання системного підходу до аналізу процесів, об'єктів, проблем?
2. Які науковці найбільше вплинули на розвиток системного підходу?
3. Наведіть приклади відомих Вам систем.
4. Вкажіть головну властивість об'єкта, який може становити собою систему.
5. Які загальнофілософські підходи вплинули на формування принципів системного підходу?
6. Як еволюціонувало поняття “система” в сучасній науці?
7. Охарактеризуйте поняття “емерджентність”, гетерогенність”, “відмежованість від середовища”.
8. Яке співвідношення між поняттями “система”, “компонент”, “підсистема”, “елемент”?
9. Який вплив на систему має зворотний зв'язок?
10. Яку роль відіграє формулювання цілі у формуванні системи?

Завдання 1. Визначте реальні системи, які мають топологію внутрішніх зв'язків:

- 1) послідовні,
- 2) паралельні,
- 3) радіальні,
- 4) кільцеподібні,
- 5) типу повний граф,
- 6) деревоподібні,
- 7) незв'язані.

Завдання 2. Визначте, які з наведених систем є:

- a) централізованими
- b) децентралізованими
- c) централізовано-розподіленими
- d) ієрархічними

- A. Нервова система
- B. Система документообігу в банку
- C. Система освіти
- D. Система керування державою
- E. Комп'ютер
- F. Гальмівна система автомобіля
- G. САПР

Тема 2

КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ

Класифікацією називається поділ деякої сукупності об'єктів на класи за найбільш істотними ознаками. Ознака або їх сукупність, за якими об'єкти об'єднуються в класи, є підставою класифікації.

Клас – це сукупність об'єктів, що мають певні ознаки спільності.

Існує цілий ряд різних класифікацій систем, що відбивають ті чи інші їх властивості.

Визначені класи систем зручно використовувати як підходи на початковому етапі моделювання будь-якої задачі. Класам відповідають методи формалізованого відображення систем.

Визначивши клас системи, можна вибрати метод, що дасть змогу більш адекватно її відобразити.

У таблиці 2.1 наведено класифікацію систем за певними ознаками. Перелік ознак може бути доповнений.

Таблиця 2.1

№	Класифікаційна ознака	Тип системи
1	Природа елементів	Реальні (фізичні) Абстрактні
2	Походження	Природні Штучні Змішані
3	Тип оператора системи	Чорний ящик Непараметричний клас Параметричний клас Білий ящик
4	Термін існування	Сталі Тимчасові
5	Мінливість властивостей	Статичні Динамічні
6	Ступінь складності	Прості Складні Великі
7	Відношення до зовнішнього середовища	Закриті Відкриті
8	Реакція на вплив, що збурює	Активні Пасивні
9	Характер управління	Керовані зовні Самокеровані З комбінованим управлінням Без управління

№	Класифікаційна ознака	Тип системи
10	Ступінь організованості	Добре організовані Погано організовані (дифузні) Ті, що самоорганізуються
11	Ступінь участі та впливу людини	Технічні Людино-машинні Організаційні

За природою елементів розрізняють реальні та абстрактні системи.

До *реальних* належать ті, що реально існують у природі, техніці або суспільстві (Сонячна система, прокатний стан, Україна як держава).

Прикладами *абстрактних* систем можуть бути ідеальні відображення реальних систем та процесів (карти місцевості, технічні креслення тощо), а також інші ідеальні конструкції (системи рівнянь, алгоритми та інші). Для реальної системи може бути побудована певна множина моделей, що розрізняються за метою дослідження, необхідним ступенем деталізації та іншими ознаками.

Наприклад, реальна локальна обчислювальна система, з погляду системного адміністратора, є сукупністю програмного, математичного, інформаційного, лінгвістичного, технічного й іншого видів забезпечення, з погляду користувача, – це сукупність об'єктів, з якими можна обмінюватися інформацією, з погляду технічного обслуговування, – сукупність справних і несправних засобів.

Розглядаючи системи за класифікаційною ознакою **походження**, у кожному типі систем можна виділити певні класи (Рис. 2.1):

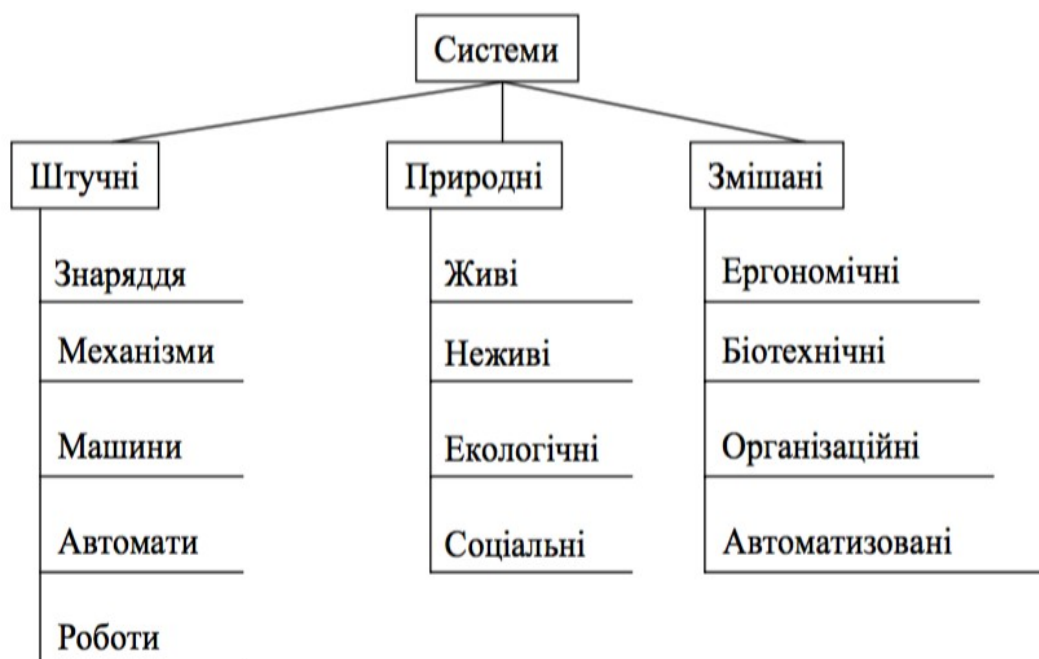


Рис. 2.1. Класифікація систем за походженням

Класифікація *за типом оператора* поділяє системи за характером зв'язку між вхідними й вихідними змінними (Рис. 2.2).

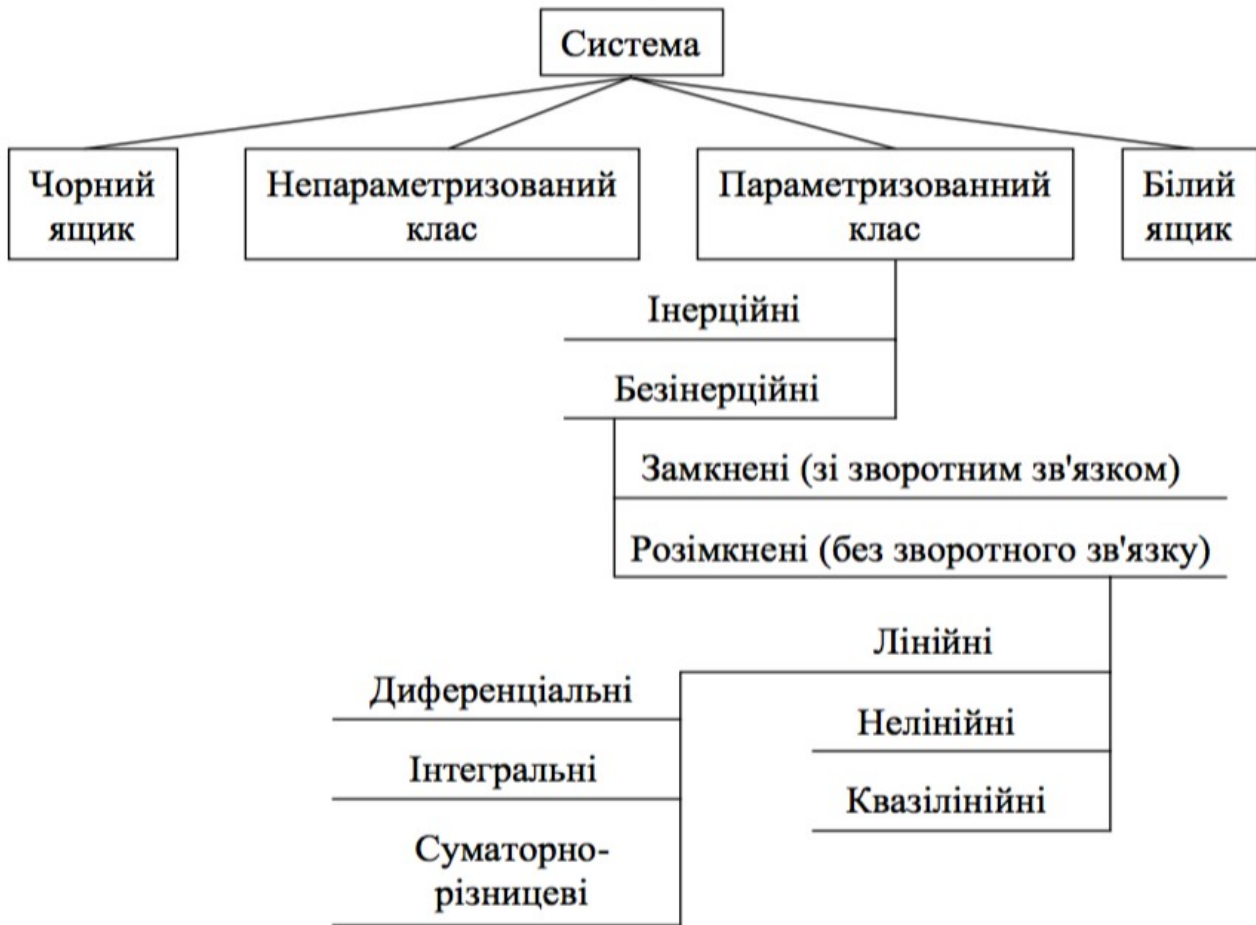


Рис. 2.2. Класифікація систем за типом оператора

На першому рівні характеристичною ознакою є ступінь повноти інформації про цей зв'язок.

Перший клас утворюють системи типу *чорного ящика*. Для таких систем немає ніякої інформації про характер зв'язку між вхідними й вихідними змінними.

Другий клас утворюють *непараметризовані системи*. Для них є уривчаста інформація про характер зв'язку між вхідними й вихідними змінними.

Зокрема, може бути відомо, що оператор зв'язку має такі властивості, як гладкість, симетричність, неперервність, монотонність і т. п.

Третій клас утворюють *параметризовані системи*.

Для них оператор зв'язку відомий з точністю до значень параметрів, які до нього входять.

Наприклад, може бути встановлено, що зв'язок між входом і виходом описується рівнянням виду $Y = AX + B$. Але при цьому є невідомими значення параметрів A і B .

Четвертий клас утворюють системи типу *білого ящика*, тобто такі, для яких зв'язок між входом і виходом є повністю описаним.

За терміном існування системи поділяють на сталі й тимчасові.

Сталі зберігають свою цілісність протягом часу, який цікавить дослідника.

Це велика кількість природних (Всесвіт, Земля, стійки елементарні частинки й атоми тощо) та штучних (ювелірні вироби, архітектурні та гідротехнічні споруди тощо) систем, які протягом певного часу функціонування практично не змінюються.

Тимчасовими є системи, час існування яких є порівняним або навіть меншим, ніж час, потрібний для їх дослідження.

Мінливість властивостей дає змогу поділити системи на статичні та динамічні.

До *статичних* відносять ті, при дослідженні яких можна нехтувати змінами їх характеристик та суттєвих властивостей у часі. Тобто у процесі дослідження систему можна вважати такою, що має лише один можливий стан.

На відміну від статичних, *динамічні* системи мають кілька можливих станів. З часом система може переходити з одного стану до іншого безупинно або тільки в деякі дискретні моменти.

Розподіл систем на *прості, складні й великі* підкреслює, що в системному аналізі розглядаються не будь-які, а саме складні системи великого масштабу.

Виділяють *структурну й функціональну* (обчислювальну) складність.

Загально визнаної межі, яка розділяє прості, великі й складні системи, немає.

Основні ознаки складних систем:

- робастність,
- наявність неоднорідних зв'язків,
- емерджентність.

Робастність

Робастність - здатність системи зберігати часткову працездатність (ефективність) при відмові її окремих елементів чи підсистем.

Робастність зумовлюється функціональною надмірністю складної системи й виявляється в зміні ступеня деградації виконуваних функцій, що залежить від глибини збуджуючих дій.

Проста система може знаходитися не більше ніж у двох станах: повної працездатності (справному) або повної непрацездатності (несправному).

Неоднорідність зв'язків

У складних системах, крім значної кількості елементів, присутні численні й різні за типами (неоднорідні) зв'язки між елементами.

Основні види зв'язків:

- структурні (у тому числі ієрархічні),
- функціональні,
- каузальні (причинно-наслідкові, відносини істинності),
- інформаційні, просторово-часові.

За цією ознакою складні системи відрізняють від великих систем, що є сукупністю однорідних елементів, об'єднаних зв'язком одного типу.

Емерджентність

Складна система має властивості, відсутні у кожного з її компонентів. Це називають інтегративністю (цілісністю), чи емерджентністю системи.

Відомою є класифікація систем, запропонована Кеннетом Боулдингом. В ній, як правило, кожен наступний клас містить у собі попередній, виявляє більше відкритості та стохастичності поведінки, більш складними механізмами функціонування й розвитку.

Таблиця 2.2.

Тип системи	Рівень складності	Приклади
Неживі системи	Статичні структури або кістяки	Кристали
	Прості динамічні структури із заданим законом поведінки (спрямування)	Годинниковий механізм
	Кібернетичні системи з керованими циклами зворотного зв'язку	Термостат
Живі системи	Відкриті системи зі структурою, яка самозберігається (перший щабель, на котрому можливий поділ на живе і неживе)	Клітини, го-меостат
	Живі організми з низькою здатністю сприймати інформацію	Рослини
	Живі організми з більш розвинутою здатністю сприймати інформацію, але такі, що не мають самосвідомості	Тварини
	Системи, що характеризуються самосвідомістю, мисленням і нетривіальною поведінкою	Люди
	Соціальні системи	Соціальні організації
	Трансцендентні системи або системи, що є на сьогодні поза нашим пізнанням	

Класифікація систем за способом керування

В загальному розумінні **керування** — сукупність цілеспрямованих дій, що включає оцінку ситуації та стану об'єкта керування, вибір керівних дій та їх реалізацію.



Рис. 2.3. Класифікація систем за способом керування

На першому рівні цієї класифікації визначається місце розташування керуючої системи (поза чи всередині керованої системи).

Можливий також випадок комбінованого управління, коли частина керуючої системи знаходиться всередині керованої системи, а інша частина – поза нею.

До першого рівня класифікації відносять *системи без зворотного зв'язку, з програмним керуванням та автоматичні системи*.

На другому рівні незалежно від місця розташування блоку управління розподіл систем здійснюється за ступенем визначеності траєкторії (у фазовому просторі), що приводить систему до мети, і здатності блоку управління утримувати систему на цій траєкторії.

Перший підклас у всіх випадках утворюють системи, у яких точно відомо траєкторію, а також те, як треба впливати на систему для досягнення мети. Прикладами систем, що відносяться до цього підкласу (системи без зворотного зв'язку, з програмним керуванням та автоматичні системи), можуть служити телефон-автомат, робота комп'ютера за заздалегідь заданою програмою, ріст зародка живого організму і т. п.

Зауваження: Поведінка динамічної системи може бути вивчена за допомогою концепції фазового простору, яка неформально визначається наступним чином:

Фазовий простір динамічної системи — це теоретичний простір, де кожен стан системи відображається в унікальному просторовому розташуванні.

Кількість змінних стану, необхідних для однозначного визначення стану системи, називається ступенями свободи в системі.

Можна побудувати фазовий простір системи, маючи вісь для кожного ступеня свободи, тобто приймаючи кожну змінну стану як одну з ортогональних осей. Тому ступені свободи системи дорівнюють розмірам її фазового простору.

Однією з переваг малювання фазового простору є те, що він дозволяє візуально подати динамічно мінливу поведінку системи як статичну траєкторію в ній. Це забезпечує геометричне розуміння динаміки системи, що є простішим за сприйняття алгебраїчних рівнянь (Рис. 2.4).

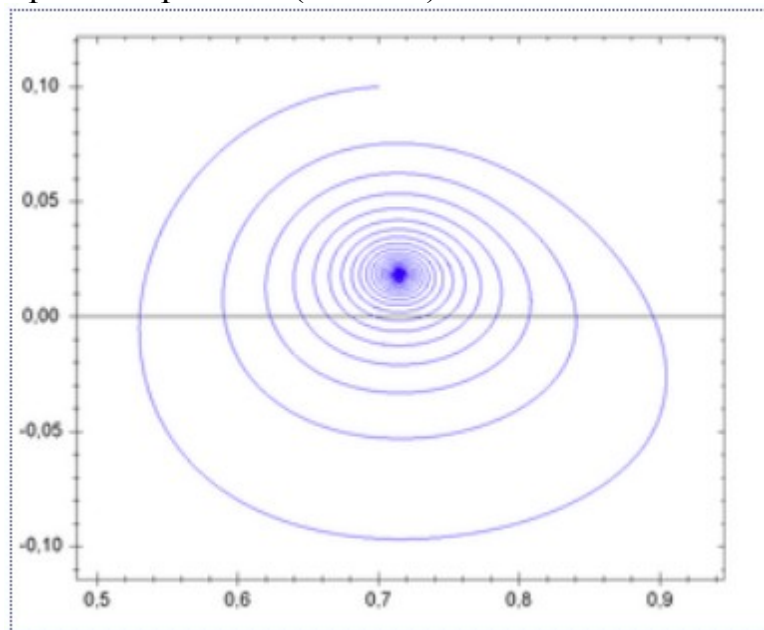


Рис. 2.4. Двовимірний фазовий простір динамічної системи (фазова траєкторія цієї системи має вигляд розбіжної спіралі)

Регульовані системи, системи з автоматичним регулюванням, напівавтоматичні системи

Набагато частіше зустрічається ситуація, коли система сходиться із заданої траєкторії внаслідок того, що процеси на некерованих входах відрізняються від передбачуваних, або під впливом випадкових і невраховуваних факторів.

Якщо відхилення системи від заданої траєкторії невелике, то застосовується спосіб управління, названий *регулюванням*.

У цьому разі знаходять різницю між поточною та заданою траєкторіями $y(t) - y_0(t)$ і визначають додаткові керівні впливи, здатні в найближчому майбутньому повернути виходи системи на задану траєкторію. *Регульовані системи виділені в другий підклас усіх розглянутих класів*. До них, зокрема, належать автопілоти літаків, рефлекторні реакції тварин, верстати, керовані операторами тощо.

Системи з керуванням за параметрами, з параметричною адаптацією, автоматизовані системи

Наступний спосіб управління застосовують, якщо відхилення від заданої траєкторії занадто великі, і повернути систему на цю траєкторію методами регулювання неможливо, а також у випадках, коли з якихось причин не можна задати опорну траєкторію.

Управління в таких ситуаціях може полягати в тому, щоб спрогнозувати поточну траєкторію $y(t)$ і підібрати такі параметри системи, за яких прогнозована траєкторія в певний момент часу потрапить до заданої цільової області Y^* . Такому способу управління відповідає *третій підклас (керування за параметрами)*. Прикладами його реалізації є процеси адаптації живих організмів до умов середовища, що змінюються, робота пілотів літаків, автоматизовані системи управління тощо.

Системи з керуванням за структурою, зі структурною адаптацією, організаційні системи

Можлива також ситуація, коли траєкторія даної системи ні за яких значень параметрів не перетинає цільову область. У цьому разі ціль може бути досягнута шляхом зміни структури системи.

Відповідний спосіб управління називають *структурною адаптацією*, а системи, у яких він реалізується, утворюють *четвертий підклас*.

Прикладами можуть служити гнучкі автоматичні виробництва, обчислювальні мережі, сільськогосподарські машини зі змінними начіпними та причіпними пристроями, видоутворення в живій природі, утворення й розпад держав тощо.

Класифікація систем за ступенем організованості

Добре організовані системи

Відобразити аналізований об'єкт або процес ухвалення рішення у вигляді добре організованої системи означає визначити елементи системи та їх зв'язки між собою і з цілями системи.

Проблемна ситуація може бути описана у вигляді виразу, що пов'язує ціль із засобами, тобто у вигляді критерію або показника ефективності, критерію функціонування, цільової функції й т. п., що можуть бути подані складним рівнянням, формулою, системою рівнянь.

Більшість моделей фізики й технічних наук засновані на відображенні об'єктів і процесів як добре організованих систем.

Наприклад, роботу складного механізму подають у вигляді спрощеної схеми або системи рівнянь, які враховують не всі, а найбільш істотні з погляду його призначення елементи та зв'язки між ними.

Атом часто описують як планетарну систему, яка складається з ядра та електронів. Це суттєво спрощує реальну картину, але є достатнім для розуміння багатьох властивостей атома.

Для відображення об'єкта у вигляді добре організованої системи слід *виділяти істотні та не зважати на несуттєві для конкретної цілі розгляду компоненти*.

За необхідності більш детального опису потрібно уточнити ціль, вказавши, з яким ступенем глибини нас цікавить досліджуваний об'єкт, і побудувати нову систему, що відображає його, беручи до уваги внесені корективи.

Наприклад, при описі будови атома можна врахувати склад ядра, квантово-механічні закономірності поведінки електронів та ядер, магнітні властивості тощо.

Відображення об'єкта у формі добре організованої системи використовують тоді, коли можна запропонувати детермінований опис і експериментально обґрунтувати правомірність його вживання, тобто *адекватність моделі реальному об'єкту чи процесу*.

Спроби застосувати клас добре організованих систем для відображення складних багатокомпонентних об'єктів або для розв'язування багатокритеріальних задач, що виникають, наприклад, при удосконалюванні управління й розробці АСУ, вдаються погано.

Погано організовані, або дифузійні, системи

При відображенні об'єкта у вигляді погано організованої, або дифузійної, системи не ставиться завдання визначити всі компоненти, їх властивості та зв'язки між ними й цілями системи.

Система може характеризуватися:

- 1) певним набором макропараметрів та зв'язків між ними;
- 2) закономірностями, що виявляються на основі дослідження представницької вибірки компонентів, що характеризують досліджуваний об'єкт або процес.

У першому випадку поведінка системи може бути детермінованою, тобто знання певних характеристик системи дає змогу однозначно встановити її інші суттєві властивості.

У другому випадку на основі вибіркового дослідження компонентів одержують їх статистичні характеристики або закономірності поведінки і поширюють отримані результати на всю систему в цілому. При цьому робляться відповідні застереження. Наприклад, при одержанні статистичних закономірностей їх поширюють на поведінку всієї системи, вказуючи рівень значущості (ймовірність помилки), довірчі межі тощо.

Прикладом дифузійної системи є газ. Його поведінка не може бути визначена шляхом повного й точного опису поведінки всіх його молекул, тому його характеризують або макропараметрами (параметрами стану) – тиском, температурою, об'ємом тощо, або функціями розподілу мікропараметрів – швидкостей молекул, їх кінетичних та потенціальних енергій та інших. На основі цих параметрів розробляють прилади, що використовують властивості газу, не досліджуючи при цьому поведінки кожної окремої молекули.

Відображення об'єктів у вигляді дифузійних систем застосовується при визначенні пропускнуої спроможності систем управління, кількості працівників в обслуговуючих, наприклад, ремонтних, цехах підприємств і в обслуговуючих установах (для вирішення подібних задач використовують методи теорії масового обслуговування), при дослідженні документальних потоків інформації тощо.

Самоорганізовані системи

Відображення об'єктів у вигляді систем, що самоорганізуються, або розвиваються, дає змогу досліджувати найменш вивчені об'єкти та процеси з великою невизначеністю на початковому етапі постановки завдань.

Такі системи мають ознаки, *характерні для дифузійних систем*:

- стохастичність поведінки,
- нестабільність окремих параметрів,

І, крім того, *специфічні ознаки*:

- непередбачуваність поведінки;
- здатність адаптуватися до умов динамічного середовища;
- змінювати структуру, зберігаючи при цьому властивість цілісності;
- протистояти ентропійним тенденціям;
- формувати можливі варіанти поведінки й вибирати серед них найкращий;
- а також інші ознаки, що наближають їх до реальних об'єктів.

Процеси самоорганізації вивчає сучасний міждисциплінарний розділ науки — синергетика.

Моделі систем, які самоорганізуються, або розвиваються, мають надавати можливість відображення цих властивостей. При їх формуванні змінюється звичне уявлення про моделі, характерне для математичного моделювання та прикладної математики. Стають інакшими також уявлення про доведення адекватності моделей.

Для побудови таких моделей застосовується теорія множин, математична логіка, математична лінгвістика, імітаційне динамічне моделювання і т. п.

Рекомендовані джерела

1. Горбань О.М., Бахрушин В.Є. Основи теорії систем і системного аналізу: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ГУ “ЗІДМУ”, 2004. – 204 с.
2. Навчальний посібник з дисципліни «Системний аналіз» для здобувачів спеціальності 122 – Комп’ютерні науки / Укл.: В.М. Тонконогий, В.О. Вайсман, Л.В. Бовнегра, К.Г. Кіркопуло. Одеса: Нац. ун-т «Одеська політехніка», 2022. – 84 с.
3. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 171 с.
4. Міца О.В., Лавер В.О. Системний аналіз : навч.-метод. посіб. / О.В. Міца, В.О. Лавер. – Ужгород : вид-во ПП «АУТДОР - ШАРК», 2021. – 63 с.
5. Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. Посібник / К.О. Сорока. – ХНАМГ:, 2004. – 291 с.
6. Шушура О.М., Шатохіна Н.К. Системний аналіз : навч. посіб. / О.М. Шушура, Н.К. Шатохіна. – К. : Редакційно-видавничий центр Державного університету телекомунікацій, 2019. – 63 с.

Запитання і завдання для самостійної роботи

Дайте письмові або усні відповіді.

1. Запропонуйте ще якусь класифікаційну ознаку на додаток до наведених у Таблиці 1.
2. Наведіть приклади систем, для яких Ви можете вказати кілька моделей.
3. Запропонуйте кілька прикладів систем, класифікованих за ознакою походження.
4. Визначте, до якого класу систем за типом оператора можна віднести телевізор як систему з погляду пересічного глядача, телевізійного майстра або розробника?
5. Наведіть приклади статичної та динамічної систем. До якого класу Ви їх можете зарахувати: до сталих чи тимчасових?
6. Наведіть приклад складної системи й покажіть, що вона має всі три основні ознаки: робастність, наявність неоднорідних зв'язків та емерджентність.
7. Доповніть Таблицю 2 своїми прикладами систем.
8. Наведіть приклад добре організованої системи. Покажіть, що вона відповідає критеріям системи такого типу.
9. Наведіть приклад погано організованої системи. Покажіть, що вона відповідає критеріям системи такого типу.
10. Розкрийте зміст понять “самоорганізація”, ”синергія”, “синергетика”.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Сучасний системний аналіз (СА) – прикладна наука, яка орієнтована на прояснення причин виникнення проблем і на формування варіантів їх усунення.

Системний аналіз – це сукупність методологічних засобів, які використовуються для підготовки і обґрунтування рішень із складних проблем політичного, соціального, економічного, технічного і наукового характеру.

Основою СА є системний підхід і низка методів, математичних дисциплін і сучасної теорії управління.

Основна процедура СА – це побудова узагальненої моделі, яка відображає взаємозв'язки реальної ситуації.

Технічною основою є комп'ютери та інформаційні системи.

З історії системного аналізу

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

RAND Corporation - американський аналітичний центр, заснований у 1948 р. Починав свою діяльність як аналітичний підрозділ при Військово-Повітряних Силах США, фокусуючись виключно на питаннях національної безпеки США. З 1948 року став незалежною дослідницькою організацією, метою якої є поширення громадського добробуту через застосування наукового підходу до суспільних питань.

Початково 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).

Сутність та принципи системного аналізу

Сучасний системний аналіз (СА) – прикладна наука, яка орієнтована на прояснення причин виникнення проблем і на формування варіантів їх усунення.

Основні риси системного аналізу:

1. Системний аналіз пов'язаний з ухваленням оптимального рішення з багатьох можливих альтернатив.
2. Кожна альтернатива оцінюється з позиції тривалої перспективи.
3. Системний аналіз розглядається як методологія поглибленого з'ясування (розуміння) і впорядкування (структуризації) проблеми.
4. У системному аналізі здійснюється акцент на розробленні нових принципів наукового мислення, що враховують взаємозв'язок цілого і суперечливі тенденції.
5. Загострення інтуїції фахівців.
6. Застосовується, у першу чергу, для вирішення стратегічних проблем.

Системний аналіз тісно пов'язаний з синергетикою.

Синергетика – міждисциплінарна наука, що досліджує загальні ідеї, методи і закономірності організації (зміни структури, її просторово-часового ускладнення) різних об'єктів і процесів, інваріанти (незмінну суть) цих процесів.

«Синергетичний» в перекладі означає «сумісний, такий, що узгоджено діє». Це теорія виникнення нових якісних властивостей, структур на макроскопічному рівні.

Системний аналіз тісно пов'язаний і з філософією.

Філософія дає загальні методи змістовного аналізу, а системний аналіз – загальні методи формального, міжпредметного аналізу предметних областей, виявлення і опису, вивчення їх системних інваріантів.

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 системи;
- міждисциплінарний характер системних досліджень;
- органічна єдність формального та неформального при проведенні СА.

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

Системний аналіз – науковий метод пізнання, який являє собою послідовність дій з установлення структурних зв'язків між змінними чи елементами досліджуваної системи і спирається на комплекс загальнонаукових, експериментальних, природничо-наукових, статистичних, математичних методів.

Цінність системного аналізу полягає у створенні основи для логічного і послідовного підходу до проблеми ухвалення рішень.

Ефективність вирішення проблем за допомогою системного аналізу визначається структурою вирішуваних проблем.

Усі проблеми поділяються на три класи:

- 1) добре структуровані (well-structured), або кількісно сформульовані проблеми, в яких істотні залежності з'ясовані дуже добре;
- 2) неструктуровані (unstructured), або якісно виражені проблеми, що містять лише опис важливих ресурсів, ознак і характеристик, кількісні залежності між якими зовсім невідомі;
- 3) слабо структуровані (ill-structured), або змішані проблеми, які містять як якісні елементи, так і маловідомі, невизначені складові, які мають тенденцію домінувати.

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 у наступних ситуаціях:

- 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).

Основні поняття системного аналізу

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 принципи кінцевої мети, єдності, зв'язності, модульності, ієрархії, функціональності, розвитку, децентралізації, невизначеності.

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: довільний компонент системи розглядається сумісно з його 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 півпорядок) 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 опису 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 елемента, виявляться перевантаженими, а сам керуючий елемент буде нездатним опрацювати таку велику кількість інформації.

Однак чим більш децентралізованими 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, абстрагованими від конкретного змісту прикладних проблем.

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 системоаналітичного досвіду.

Сутність та принципи системного аналізу

Системний аналіз надає до використання в різних науках такі системні процедури:

- абстрагування і конкретизація;
- аналіз і синтез, індукція і дедукція;
- формалізація;
- композиція і декомпозиція;
- лінеаризація і виділення нелінійних складових;
- структуризація і реструктуризація;

- реінжиніринг;
- алгоритмізація;
- моделювання і експеримент;
- розпізнавання і ідентифікація;
- класифікація;
- верифікація;
- інші методи і процедури.

Відповідно до принципу системного підходу, кожна система впливає на іншу систему. Весь навколишній світ – системи, що взаємодіють.

Мета системного аналізу – з'ясувати ці взаємодії, їх потенціал і спрямувати їх на вирішення проблеми.

Предметний аналітик (предметно-орієнтований аналітик) – людина, професіонал, який вивчає і описує деяку предметну область, проблему відповідно до принципів і методів, технологій цієї області. Це не означає «вузький» розгляд цієї проблеми, хоча подібне – досить часте явище.

Системний аналітик (системно-орієнтований аналітик) – людина, професіонал високого рівня, експерт, який вивчає та описує системи відповідно до принципів системного підходу, тобто вивчає проблему комплексно. Йому властивий особливий склад розуму, що базується на знаннях, досить великому кругозорі і досвіді, високому рівні інтуїції передбачення, умінні ухвалювати доцільні ресурсозабезпечені рішення. Його основне завдання – допомогти предметному аналітику ухвалити правильне рішення при вирішенні предметних проблем, виявлення і вивчення критеріїв їх ефективності.

Необхідними атрибутами системного аналізу як наукового знання є:

1. наявність предметної сфери – системи і системні процедури;
2. виявлення, систематизація, опис загальних властивостей систем;
3. виявлення і опис закономірностей в цих системах;
4. актуалізація закономірностей для вивчення систем, їх поведінки і зв'язків з навколишнім середовищем;
5. накопичення, зберігання, актуалізація знань про системи (комунікативна функція).

Системний аналіз базується на таких загальних принципах:

1. *Принцип дедуктивної послідовності* – послідовного розгляду системи за етапами – від оточення і зв'язків з цілим до зв'язків частин цілого;
2. *Принцип мети* – орієнтує на те, що при дослідженні об'єкта необхідно перш за все виявити мету його функціонування. Принцип мети конструктивний при дотриманні двох умов:
 - мета повинна бути сформульована так, щоб ступінь її досягнення можна було оцінити (задати) кількісно;
 - у системі повинен бути механізм, що дозволяє оцінити ступінь досягнення заданої мети.

3. *Принцип узгодження ресурсів і цілей розгляду*, актуалізації системи.
 4. *Принцип безконфліктності* – відсутність конфліктів між частинами цілого, між цілями цілого і частин.
 5. *Принцип подвійності* – впливає з принципу мети і означає, що система повинна розглядатися як частина системи більш високого рівня і водночас як самостійна частина, що є єдиним цілим у взаємодії з середовищем. У свою чергу, кожний елемент системи має власну структуру і також може розглядатися як система.
- Взаємозв'язок з принципом мети полягає в тому, що мета функціонування об'єкта повинна бути підпорядкована вирішенню завдань функціонування системи більш високого рівня. Мета – категорія зовнішня відносно системи. Вона ставиться їй системою більш високого рівня, до якої дана система входить як елемент.
6. *Принцип цілісності* – вимагає розглядати об'єкт як щось виділене з сукупності інших об'єктів, що є цілим відносно навколишнього середовища, має свої специфічні функції і розвивається за властивими йому законами. При цьому не заперечується необхідність вивчення окремих складових.
 7. *Принцип складності* – вказує на необхідність дослідження об'єкта як складного утворення, і, якщо складність є дуже високою, потрібно послідовно спрощувати подання об'єкта так, щоб зберегти всі його істотні властивості.
 8. *Принцип множинності* – вимагає від дослідника подавати опис об'єкта на різних рівнях – морфологічному, функціональному, інформаційному.
 9. *Принцип історизму* зобов'язує дослідника розкривати минуле системи і виявляти тенденції та закономірності її розвитку в майбутньому.

Системний аналіз є наслідком науково-технічної революції, а також необхідності вирішення її проблем за допомогою однакових підходів, методів, технологій. Такі проблеми виникають і в економіці, і в інформатиці, і в біології, і в політиці і т. ін.

Системний аналіз повинен розглядатися не як зіставлення суб'єктивних думок, а як структурна основа, яка забезпечує використання думок експертів у різних сферах для отримання результатів, що перевершують будь-які індивідуальні думки.

Системний аналіз має і певні обмеження, як і інші способи дослідження.

Обмеженість системного аналізу зумовлена:

- неминучою неповнотою аналізу;
- наближеністю міри ефективності;
- відсутністю способів точного прогнозування майбутнього.

Недоліки системного аналізу:

1. багато чинників, що мають фундаментальне значення, не піддаються кількісному обробленню і можуть бути упущені з розгляду або умисно залишені для подальшого розгляду, а потім забуті;
2. чинникам можуть надаватися неправильні вагомості в самому аналізі або в рішенні, заснованому на такому аналізі;
3. дослідження може виглядати настільки науковим і кількісно точним, що йому може бути приписана абсолютно невиправдана обґрунтованість, незважаючи на те що вона містить багато суб'єктивних думок;
4. системний аналіз знаходиться на початковій стадії свого розвитку, його методологію ще не можна назвати сталою, а практична застосовність і ефективність значною мірою залежать від досконалості економічних, математичних, логічних методів і рівня конкретних знань про складні суспільно-політичні і соціально-економічні процеси, від можливостей отримання відповідної інформації про них.

Корисність нових методів аналізу й управління і, в першу чергу, системного аналізу полягає в такому:

- 1) у більшому розумінні і проникненні в суть проблеми: практичні зусилля виявити взаємозв'язки і кількісні цінності допоможуть виявити приховані погляди за тими або іншими рішеннями;
- 2) у більшій точності: більш чітке формулювання цілей, завдань знизить, хоча й не усуне, неминуче непрозорі місця багатопланових цілей;
- 3) у більшій порівнянності: аналіз може бути здійснений так, що плани для однієї країни або району можуть бути з користю пов'язані і зіставлені з планами і політикою відносно інших районів; при цьому можна виявити загальні елементи;
- 4) у більшій ефективності: розроблення нових методів має забезпечити більш впорядкований розподіл ресурсів і надати допомогу в перевірці цінності інтуїтивних думок.

У теорії і науковій практиці системного аналізу широко використовується поняття «системний підхід». Часто вживається словосполучення «комплексний, системний підхід».

Поняття «системність» і «комплексність» вживаються як синоніми, хоча між ними є деякі відмінності.

Поняття «системність» характеризує цілеспрямованість, упорядкованість, організованість, тоді як поняття «комплексність» відображає взаємопов'язаність, взаємообумовленість, різносторонність, широту дослідницького охоплення проблеми.

Поняття «системність» ширше від поняття «комплексність», оскільки охоплює зв'язки як усередині одного рівня (горизонтальні), так і між різними рівнями

(вертикальні), а не одного або суміжних рівнів ієрархічної структури даної системи.

Етапи системного аналізу

Для дослідження властивостей і подальшого управління системою, як правило, виокремлюють основні *етапи*:

1. *Опис системи.*
2. *Виявлення та опис проблеми.*
3. *Вибір і реалізація напряму вирішення проблеми.*

У кожному конкретному випадку етапи системного аналізу мають різну питому вагу в загальному обсязі робіт за часовими, витратними і інтелектуальними показниками.

1. Опис системи

- 1.1. Визначення мети системного аналізу.
- 1.2. Визначення завдань, призначення і функцій системи.
- 1.3. Визначення ролі і місця в системі більш високого рівня.
- 1.4. Функціональний опис (вхід, вихід, процес, зворотний зв'язок, обмеження).
- 1.5. Структурний опис (взаємозв'язки, декомпозиція).
- 1.6. Інформаційний опис.
- 1.7. Опис життєвого циклу системи.

2. Виявлення та опис проблеми

- 2.1. Визначення складу показників ефективності і методик їх обчислення.
- 2.2. Встановлення невідповідності між бажаним і фактичним станом справ та його оцінка.
- 2.3. Історія виникнення невідповідності та аналіз її причин (симптоми і тенденції).
- 2.4. Формулювання проблеми.
- 2.5. Виявлення зв'язків досліджуваної проблеми з іншими проблемами.
- 2.6. Прогнозування розвитку проблеми.
- 2.7. Оцінка можливих наслідків проблеми та визначення їх актуальності.

3. Вибір і реалізація напряму вирішення проблеми

- 3.1. Структуризація проблеми (виділення підпроблем).
- 3.2. Визначення вузьких місць у системі.
- 3.3. Дослідження альтернативи «вдосконалення системи – створення нової системи».
- 3.4. Визначення напрямів вирішення проблеми (вибір альтернатив).
- 3.5. Оцінка можливості реалізації напрямів вирішення проблеми.
- 3.6. Порівняння альтернатив і вибір найефективнішого напряму.
- 3.7. Узгодження і затвердження вибраного напряму вирішення проблеми.
- 3.8. Виділення етапів вирішення проблеми.
- 3.9. Реалізація вибраного напряму.
- 3.10. Перевірка його ефективності.

Методичні засади системного аналізу

Поняття проблеми, симптомів, тенденції, вирішення проблеми. Основні компоненти системного аналізу.

В основі методології системного аналізу лежать три концепції: проблема, вирішення проблеми і система.

Проблема – це невідповідність або відмінність між існуючим і необхідним станом справ у будь-якій системі.

Як необхідний стан може виступати необхідне або бажане. Необхідний стан диктується об'єктивними умовами, а бажане визначається суб'єктивними передумовами, в основі яких лежать об'єктивні умови функціонування системи.

Проблеми, що існують в одній системі, як правило, не рівнозначні. Для порівняння проблем, визначення їх пріоритету використовуються атрибути: важливість, масштаб, спільність, актуальність і т. ін.

Виявлення проблеми здійснюється шляхом ідентифікації *симптомів*, що визначають невідповідність системи своєму призначенню або недостатню її ефективність. Симптоми, що систематично виявляються, утворюють *тенденцію*.

Ідентифікація симптомів здійснюється шляхом вимірювання й аналізу різних показників системи, нормативні значення яких відомі. Відхилення показника від норми і є симптомом.

Вирішення проблеми полягає в ліквідації відмінностей між існуючим і необхідним станом системи.

Ліквідація відмінностей може здійснюватися або шляхом вдосконалення, перебудови системи, або шляхом її заміни на нову.

Рішення про вдосконалення, перебудову або заміну ухвалюється з урахуванням такої тези: якщо напрям вдосконалення забезпечує істотне збільшення життєвого циклу системи і витрати незрівнянно малі відносно вартості розроблення системи, то рішення про вдосконалення виправдане. За інших умов слід розглядати питання про заміну системи на нову.

Компоненти системного аналізу

Основними компонентами системного аналізу є:

1. Мета системного аналізу.
2. Мета, яку повинна досягти система в процесі функціонування.
3. Альтернативи або варіанти побудови або вдосконалення системи, за допомогою яких можливе вирішення проблеми.
4. Ресурси, необхідні для аналізу і вдосконалення існуючої системи або створення нової.
5. Критерії або показники, що дозволяють порівнювати різні альтернативи і вибрати найбільш переважні.
6. Модель, яка поєднує мету, альтернативи, ресурси і критерії.

Процедури системного аналізу

Абстрагування – уявне відособлення від тих чи інших сторін, властивостей або зв'язків предметів (явищ) для виокремлення істотних ознак.

Це один з основних процесів розумової діяльності людини, що спирається на знакове опосередковування і дозволяє перетворити на об'єкт розгляду різні властивості предметів. Це теоретичне узагальнення дозволяє відображати основні закономірності досліджуваних об'єктів або явищ, вивчати їх, а також і прогнозувати нові, невідомі закономірності.

Види абстракції за видами неістотного:

- примітивна абстракція
- узагальнювальна абстракція
- ідеалізація
- ізолююча абстракція
- абстракція актуальної нескінченності
- конструктивізація

примітивна абстракція – відособлюється від одних властивостей предмета або явища, виокремлюючи інші його властивості або якості (виокремлення форми предмета, ігноруючи його колір, або навпаки). Через нескінченне різноманіття дійсності ніяке сприйняття не спро-можне охопити всі її елементи, тому примітивна абстракція здійсню-ється в кожному процесі сприйняття і неминуче пов'язана з ним;

узагальнювальна абстракція – дає узагальнену картину явища, незважаючи на часткові відхилення. У результаті виокремлюється загальна властивість досліджуваних об'єктів або явищ. Цей вид абстракції вважається основним у математиці і математичній логіці;

ідеалізація – заміщення реального емпіричного явища схемою, що ідеалізується, без урахування реальних недоліків. У результаті утворюються поняття ідеальних об'єктів (ідеальний газ, пряма тощо);

ізолююча абстракція – пов'язана з мимовільною увагою, оскільки при цьому виокремлюється той зміст, на якому зосереджується увага;

абстракція актуальної нескінченності – відвернення від принципової неможливості зафіксувати кожен елемент нескінченної множини, тобто нескінченні множини розглядаються як кінцеві;

конструктивізація – відволікання від невизначеності меж реальних об'єктів, їх «грубе», наближене подання.

Види абстракції за видами цілей:

формальна абстракція – виокремлення таких властивостей предмета, які незалежно від нього не існують (форма або колір). Цей тип абстракції є основою засвоєння знань для опису предметів за їх зовнішніми властивостями, що служить передумовою теоретичного мислення;

змістовна абстракція – вичленення тих властивостей предмета, які самі по собі мають відносну самостійність (клітина організму). Цей тип абстракції розвиває здатність оперувати ними.

Поняття «абстрактне» протиставляється конкретному: наприклад, конкретне мислення – абстрактне мислення.

Абстрактне мислення (за нього відповідає ліва півкуля головного мозку) передбачає операції з абстракціями («число три», «дерево» і т. ін.), конкретне мислення (за яку відповідальна права півкуля головного мозку) має справу з конкретними об'єктами і процесами («три яблука», «дуб у дворі», і т. п.).

Здатність до абстрактного мислення є однією з відмінних рис людини, яка сформувалася одночасно з мовними навичками і значною мірою завдяки мові.

Конкретизація (лат. *concretus* – густий, твердий) – метод дослідження предметів в усій їх різнобічності, у якісній різнобічності реального існування на відміну від абстрактного вивчення предметів. При цьому досліджується стан предметів у зв'язку з певними умовами їх існування та історичного розвитку.

Процес конкретизації спрямований на відновлення в мисленні об'єктивної цілісності, що існує через зв'язки одиничних речей. Конкретизація сприяє формуванню систематизованої картини певного предмета (явища, системи) певними відмітними ознаками та характеристиками.

Декомпозиція – науковий метод, що використовує структуру завдання і дозволяє замінити вирішення одного великого завдання вирішенням серії менших завдань. Декомпозиція передбачає закріплення цілей, завдань, критеріїв їх досягнення за структурними елементами різного ієрархічного рівня.

Глибина декомпозиції обмежується. Якщо при декомпозиції з'ясовується, що модель починає описувати внутрішній алгоритм функціонування елемента замість закону його функціонування у вигляді «чорного ящика», то в такому разі відбулася зміна рівня абстракції. Це означає вихід за межі мети дослідження системи і викликає припинення декомпозиції.

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

У загальній теорії систем доведено, що більшість систем можуть бути декомпозовані на базові подання підсистем.

До них відносять: *послідовне* (каскадне) з'єднання елементів, *паралельне* з'єднання елементів та з'єднання за допомогою зворотного зв'язку.

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

Найбільш часто вживані стратегії декомпозиції:

- функціональна декомпозиція
- декомпозиція за життєвим циклом
- декомпозиція за фізичним процесом
- декомпозиція за критерієм входу в організаційно-економічні системи
- декомпозиція за типами ресурсів
- декомпозиція за кінцевими продуктами системи
- декомпозиція діяльності людини
- декомпозиція за підсистемами (структурна декомпозиція)

Функціональна декомпозиція – базується на аналізі функцій системи. При цьому ставиться питання, що робить система, незалежно від того, як вона працює. Підставою поділу на функціональні підсистеми служить спільність функцій, виконуваних групами елементів;

Декомпозиція за життєвим циклом. Ознака декомпозиції – зміна закону функціонування підсистем на різних етапах життєвого циклу системи.

Наприклад, для життєвого циклу управління організаційно-економічної системи виділяють етапи: планування, ініціації, координації, контролю, регулювання. Для інформаційних систем – етапи обробки інформації: реєстрацію, збір, передачу, обробку, відображення, зберігання, захист, знищення;

Декомпозиція за фізичним процесом. Ознака декомпозиції – кроки виконання алгоритму функціонування підсистеми, стадії зміни станів. Такий вид декомпозиції корисний при описі існуючих процесів, основний недолік – її результатом може стати дуже послідовний опис системи, який повною мірою не враховуватиме обмеження, що диктуються функціями одна одній. При цьому може виявитися прихованою послідовність управління. Застосовувати цю стратегію слід тільки з метою опису фізичного процесу як такого;

Декомпозиція за критерієм входу в організаційно-економічні системи. Ознака декомпозиції: джерело дії на систему, це може бути система вищого або нижчого рівня, а також істотне середовище;

Декомпозиція за типами ресурсів, споживаних системою. Формальний перелік типів ресурсів складається з енергії, матерії, часу та інформації (для соціальних систем додаються кадри і фінанси);

Декомпозиція за кінцевими продуктами системи. Підставою можуть служити різні види продукту, що виробляються системою;

Декомпозиція діяльності людини. Виділяється суб'єкт діяльності; об'єкт, на який спрямована діяльність; засоби, використовувані в процесі діяльності; навколишнє середовище, усі можливі зв'язки між ними;

Декомпозиція за підсистемами (структурна декомпозиція). Ознака декомпозиції – міцний зв'язок між елементами за одним із типів зв'язків, що існують у системі (інформаційних, логічних, ієрархічних, енергетичних і т. п.). Міцність зв'язку за інформацією можна оцінити коефіцієнтом інформаційного взаємозв'язку підсистем:

$$k = N / N_0,$$

де N – кількість інформаційних масивів у підсистемах, що використовуються взаємно;

N_0 – загальна кількість інформаційних масивів.

Для опису всієї системи повинна бути побудована модель, що об'єднує всі окремі моделі.

Зазвичай декомпозиція здійснюється за кількома підставами, порядок їх вибору залежить від кваліфікації і досвіду системного аналітика.

Приклад. Спроба вивчити діяльність підприємства, лише поділивши його на підрозділи, приречена на невдачу. Ми ніколи не зможемо зрозуміти, чому та чи інша компанія досягає успіху, якщо вивчатимемо кожен її цех окремо, поза зв'язком з іншими підрозділами підприємства. Лише загальний дух корпорації, моральні і матеріальні стимули та реакції, що діють на підприємстві в цілому, злагодженість у взаємодії підрозділів, обумовлені загальною стратегією, пояснюють результат її роботи. Він викликається інтегральною якістю системи в цілому, яка відсутня в кожній частині окремо, якщо частини роз'єднати.

Аналіз (від давньогрец. ἀνάλυσις – розкладання, розчленовування) – операція уявного або реального розчленовування цілого (речі, властивості, процесу, системи або відношення між предметами) на складові частини, виконувана в процесі пізнання або наочно-практичної діяльності людини.

На додаток до синтезу метод аналізу дозволяє отримати інформацію про структуру об'єкта дослідження.

Вивчення складних систем вимагає не лише аналітичного підходу, що розкладає, але й іншого – цілісного, що досліджує систему в єдності всіх її частин. Цей підхід бере за основу не аналіз, а протилежний дослідницький прийом – синтез (від грец. σύνθεσις — поєднання), тобто об'єднання частин, виявлення системної якості, властивої лише всій системі у цілому.

Призначення **синтезу** полягає в такому: на основі знань про систему, отриманих при вирішенні завдань аналізу та декомпозиції, створити модель системи, визначити її структуру, параметри, що забезпечують ефективне функціонування системи, вирішення завдань і досягнення поставлених цілей.

Синтез спрямований на виконання таких основних завдань:

- розроблення моделі системи;
- структурний синтез;

- параметричний синтез;
- оцінювання системи.

Для використання прийомів синтезу в першу чергу потрібно сформулювати причини, що об'єднують різні частини в ціле.

Часто для досягнення цілей недостатньо застосувати окремі розрізнені засоби, що є в наявності.

Тоді ці засоби об'єднують у систему засобів, яка завдяки своїй інтегральній якості має більші можливості для реалізації цілей, ніж розрізнені засоби.

Здійснюється досягнення цілей завдяки виконанню системою певної функції, ролі в іншій, ширшій системі, до якої вона входить як частина. Так робітник виконує певні функції у бригаді, бригада – у цеху, цех – на підприємстві, підприємство – на ринку. Об'єднання елементів в ціле, яке дозволяє виконувати певну роль, функцію системи в ширшій системі, і є здійсненням синтезу.

Індукція (лат. *inductio* – наведення) – висновок від фактів до деякої гіпотези, метод міркування від окремого до загального.

Дедукція (лат. *deductio* – виведення) – метод мислення, коли окреме положення логічним шляхом виводиться із загального, висновок за правилами логіки; ланцюг висновків, ланки якого (вислови) пов'язані відношенням логічного проходження. Метод міркування від загального до окремого.

Початком дедукції є аксіоми, постулати або просто гіпотези, що мають характер загальних тверджень (загальне), а кінцем – наслідки з посилок, теорем (окреме). Якщо посилки дедукції істинні, то істинні і її наслідки.

Формалізація (formalization) – це:

1) процес подання інформації про об'єкт, процес, явище у форма-лізованому вигляді;

2) метод відображення певної сфери у вигляді формальної систе-ми, коли форма виокремлюється як особливий предмет дослідження незалежно від змісту.

За допомогою формалізації відбувається відображення результатів мислення в точних поняттях або твердженнях.

Формалізація протиставляється інтуїтивному мисленню і пов'язана з процесом абстракції. Формалізація відіграє істотну роль в аналізі й уточненні наукових понять. Невідповідність між формалізацією і змістовним знанням є важливим джерелом розвитку науки, зумовлює послідовну зміну одних елементів формалізму іншими, що точніше відображають досліджувані об'єкти і явища.

Лінеаризація (лат. *linearis* – лінійний) – метод наближеного подання замкнених нелінійних систем, коли дослідження нелінійної системи замінюється аналізом лінійної системи, у деякому сенсі еквівалентної початковій.

Методи лінеаризації мають обмежений характер, тобто еквівалентність початкової нелінійної системи і її лінійного наближення зберігається лише для

обмежених просторових або часових масштабів системи, або для певних процесів, причому, якщо система переходить з одного режиму роботи на інший, то слід змінити і її модель.

Застосовуючи лінеаризацію, можна з'ясувати якісні і особливо кількісні властивості нелінійної системи.

Структуризація – це поділ системи на ієрархічні підсистеми і компоненти та встановлення між ними зв'язків і відносин, що дозволяє здійснювати управління такою системою.

Основні завдання структуризації:

- поділ системи на блоки, які підлягають управлінню;
- поділ відповідальності за різними елементами системи;
- визначення зв'язків між різними структурними елементами;
- визначення витрат – часу, грошей, матеріальних ресурсів;
- створення єдиної бази для планування, складання кошторисів, контролю за витратами тощо;
- визначення комплексу робіт та завдань.

Реструктуризація (restructuring) – це перебудова структури чого-небудь.

Наприклад, реструктуризація компанії – це зміна структури компанії, а також елементів, що формують її бізнес, унаслідок дії чинників зовнішнього або внутрішнього середовища. Реструктуризація охоплює: удосконалення системи управління, фінансово-економічної політики компанії, операційної діяльності, системи маркетингу і збуту, управління персоналом.

Основною причиною реструктуризації зазвичай є низька ефективність діяльності, яка виражається в незадовільних фінансових показниках, у нестачі оборотних коштів, у високому рівні дебіторської і кредиторської заборгованості.

Успішні компанії також часто здійснюють структурні перетворення, адже будь-яка модифікація масштабів бізнесу або ринкових умов вимагає адекватної зміни системи управління і здійснення програм реструктуризацій.

Алгоритмізація (algorithmization) – метод опису систем або процесів шляхом створення алгоритмів їх функціонування.

Алгоритм – це:

- жорстко детермінована послідовність дій, що описує процес перетворення об'єкта з початкового стану в кінцевий, записана за допомогою зрозумілих команд;
- послідовність дій, спрямованих на отримання певного результату за скінченну кількість кроків.

Властивості алгоритму:

1) скінченність – алгоритм має завжди завершуватися після виконання скінченної кількості кроків;

- 2) дискретність – процес, що визначається алгоритмом, можна поділити на окремі елементарні етапи, кожен з яких називається кроком алгоритмічного процесу чи алгоритму;
 - 3) визначеність – кожен крок алгоритму має бути точно визначений. Дії, які необхідно здійснити, повинні бути недвозначно визначені для кожного можливого випадку;
 - 4) вхідні дані – алгоритм має деяку кількість (можливо, нульову) вхідних даних, тобто, величин, заданих до початку його роботи або значення яких визначають під час роботи алгоритму;
 - 5) вихідні дані – алгоритм має одне або декілька вихідних даних, тобто, величин, що мають певний зв'язок з вхідними даними;
 - 6) ефективність – алгоритм вважають ефективним, якщо всі його оператори досить прості для того, щоб їх можна було точно виконати за скінченний проміжок часу з допомогою олівця та аркушу паперу.
- Процедуру, яка має решту характеристик алгоритму, без скінченності, називають методом обчислень.

Моделювання – метод дослідження явищ і процесів, що ґрунтується на заміні конкретного об'єкта досліджень (оригіналу) іншим, подібним до нього (моделлю).

Основні види моделювання – фізичне і математичне.

Фізичне моделювання – це моделювання, за якого модель і об'єкт, що моделюється, мають одну і ту ж фізичну природу.

Математичне моделювання – моделювання, при якому модель становить собою систему математичних співвідношень, що описують певні технологічні, економічні чи інші процеси. Найчастіше застосовуються два способи математичного моделювання:

- 1) аналітичний, що передбачає можливість точного математичного опису жорстко детермінованих систем;
- 2) імовірнісний, що дозволяє отримати не однозначне рішення, а його імовірнісну характеристику параметрів.

Експеримент (лат. *experimentum* – проба, досвід) – метод дослідження деякого явища в керованих умовах. Відрізняється від спостереження активною взаємодією з об'єктом, що вивчається. Зазвичай експеримент здійснюється в межах наукового дослідження і служить для перевірки гіпотези, встановлення причинних зв'язків між феноменами.

Ідентифікація (лат. *identifico* – ототожнювати) – ототожнення, порівнювання, уподібнення, розпізнавання. Наприклад, ідентифікація мінералів (англ. *mineral identification*).

Це процес розпізнавання системою (людиною, дослідником, операційною системою) іншої системи або об'єкта (людини, предмета, процесу).

Класифікація (лат. classis – клас і facio – роблю) – система поділу об’єктів (процесів, явищ) за класами (групами тощо) відповідно до певних ознак. Інколи вживають термін категоризація у значенні «поділ об’єктів на категорії». Якщо в результаті класифікації утворюється хоча б один клас (група) принаймні з одним елементом – можна визначити класифікацію як групування.

Тестування застосовується для визначення відповідності предмета випробування заданим специфікаціям. У завдання тестування не входить визначення причин невідповідності заданим вимогам (специфікаціям). Тестування – один із розділів діагностики.

Технологія тестування складається з таких частин:

- зовнішня дія;
- реакція випробовуваного;
- оцінка реакції і висновки.

Верифікація (лат. verificatio – підтвердження; лат. verus – істинний, facio – роблю) – логіко-методологічна процедура встановлення істинності наукової гіпотези (як і поодинокого, конкретно-наукового твердження) на основі їх відповідності емпіричним даним (пряма або безпосередня верифікація) або теоретичним положенням, що відповідають емпіричним даним (непряма верифікація).

Рекомендовані джерела

1. Горбань О.М., Бахрушин В.Є. Основи теорії систем і системного аналізу: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ГУ “ЗІДМУ”, 2004. – 204 с.
2. Навчальний посібник з дисципліни «Системний аналіз» для здобувачів спеціальності 122 – Комп’ютерні науки / Укл.: В.М. Тонконогий, В.О. Вайсман, Л.В. Бовнегра, К.Г. Кіркопуло. Одеса: Нац. ун-т «Одеська політехніка», 2022. – 84 с.
3. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 171 с.
4. Міца О.В., Лавер В.О. Системний аналіз : навч.-метод. посіб. / О.В. Міца, В.О. Лавер. – Ужгород : вид-во ПП «АУТДОР - ШАРК», 2021. – 63 с.
5. Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. Посібник / К.О. Сорока. – ХНАМГ:, 2004. – 291 с.
6. Шушура О.М., Шатохіна Н.К. Системний аналіз : навч. посіб. / О.М. Шушура, Н.К. Шатохіна. – К. : Редакційно-видавничий центр Державного університету телекомунікацій, 2019. – 63 с.

Запитання і завдання для самостійної роботи

Дайте письмові або усні відповіді.

1. Як системний аналіз застосовується до вирішення проблем в залежності від їх структурованості?
2. Поясніть на власних прикладах такі принципи системного підходу: принцип зв'язності, принцип функціональності, принцип невизначеності.
3. Поясніть на власних прикладах такі принципи системного аналізу: принцип дедуктивної послідовності, принцип подвійності, принцип множинності.
4. Порівняйте поняття “системність” і “комплексність”.
5. Поясніть значення термінів “проблема”, “симптом”, “тенденція”, “вирішення проблеми”.
6. Поясніть на власних прикладах застосування таких процедур системного аналізу: декомпозиція, формалізація, реструктуризація.

Тема 4

МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Метод – це шлях пізнання, що спирається деяку сукупність раніше отриманих загальних знань.

Особливістю системного аналізу є поєднання якісних і формальних методів. Таке поєднання складає основу будь-якої використовуваної методики.

Власними інструментами системної методології вважаються метод сценаріїв, метод отримання і аналізу експертних оцінок («Делфі») і метод побудови й аналізу дерева цілей або рішень.

Метод сценаріїв

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

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

Група експертів складає план сценарію, де описується предметна область, а також фактори зовнішнього середовища, що враховуються при постановці та вирішенні задач в цій предметній області.

Різні розділи сценарію, зазвичай, описуються різними групами експертів, де розгортається ймовірний перебіг подій у часі. Залучення різних експертів дозволяє простежити розгалуження сценарію, взаємозв'язки з іншими проблемами.

Сценарії можуть бути використані на різних етапах аналізу систем, коли потрібно зібрати і впорядкувати різномірну інформацію.

Сценарій – це метод прогнозування, за допомогою якого встановлюється логічна послідовність подій з метою показати, як, виходячи з існуючої ситуації, можна крок за кроком розгортати майбутній стан об'єкта дослідження.

Найважливішою властивістю сценарію є узгодженість, оскільки він є зображенням внутрішньо узгодженої ситуації, яка є правдоподібним результатом послідовності подій. Тобто сценарій займає проміжне місце між деякою сукупністю окремих прогнозів з невивченими взаємозв'язками і математичною моделлю, в якій забезпечена внутрішня узгодженість об'єкта.

Під час розробки та вибору реалізації управлінського рішення для компанії метод сценаріїв виконується в такий спосіб:

- керівник підрозділу складає докладний опис завдання: мету, ситуацію та проблему;

- одному з досвідчених працівників доручається розробити варіанти розв'язання проблеми;
- фахівцю з літературними здібностями дається завдання скласти сценарій можливого проходження рішення й передбачуваних результатів, а також реакції на ці результати зацікавлених фахівців;
- текст сценарію розсилається всім працівникам, котрі на різних стадіях повинні взяти участь у розробці та реалізації рішення;
- скликається нарада з обговорення сценарію.

Можливі три варіанти результатів обговорення:

1. Повне схвалення сценарію та ствердження технологій розробки й реалізації рішення, внесення в нього корективів, ствердження технології розробки й реалізації рішення;
2. Очевидна незгода і переробка сценарію;
3. Складання остаточного сценарію для введення в базу даних компанії.

Методи експертних оцінок

Основою цих методів є різні форми експертного опитування з наступним оцінюванням і вибором найкращого варіанту.

Можливість використання експертних оцінок, обґрунтування їх об'єктивності ґрунтується на тому, що невідома характеристика досліджуваного об'єкта сприймається як випадкова величина, відображенням закону розподілу якої є індивідуальна оцінка експерта щодо достовірності та значущості тієї чи іншої події.

При цьому передбачається, що істинне значення досліджуваної характеристики знаходиться всередині діапазону оцінок, отриманих від групи експертів, і що узагальнена колективна думка є достовірною.

Спірним моментом в даних методах вважається встановлення вагових коефіцієнтів з висловлюваною експертами оцінками і приведення суперечливих оцінок до деякої середньої величини.

Методи типу Делфі

В методі Делфі замість колективного обговорення проблем проводиться індивідуальне опитування експертів зазвичай у формі анкет для обчислення відносної важливості і термінів здійснення подій.

В основу методу Дельфи покладені такі положення:

питання, що ставляться перед експертами, повинні допускати можливість відповіді у вигляді числа;

експерти повинні мати достатньо інформації для того, щоб дати оцінку;

відповідь на кожне питання (оцінка) повинна обґрунтовуватися експертом.

Етапи методу Делфі:

1. Здійснюється пошук експертів;
2. Кожному експерту пропонується одне і те ж питання;

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

Методи типу «дерева цілей»

В аналізі систем основною формою моделі, що підлягає вдосконаленню і насиченню даними з допомогою експертних оцінок, є дерево цілей.

Процедура побудови «дерева цілей» є декомпозицію мети, обраної на етапі пошуку, на ряд підцілей першого рівня, які потім подаються як результат спільного досягнення цілей другого рівня і т. д. При цьому декомпозиція генеральної мети відбувається як би з майбутнього в сьогодення з встановленням проміжних подій і фіксації між ними причинно-наслідкових зв'язків.

Побудова «дерева цілей» - процедура, заснована як на застосуванні аналітичних методів, так і на широкому залученні експертних методів. За допомогою експертів отримують саме «дерево», а також коефіцієнти відносної важливості цілей. Експертам пропонується оцінити структуру моделі системи в цілому і дати пропозиції про включення до неї неврахованих зв'язків. При цьому використовується анкетний метод. Результати кожного опитування знову доводяться до відома всіх експертів, що дозволяє їм далі коригувати свої судження на основі знову отриманої інформації.

Основні етапи побудови «дерева цілей»:

1. формулювання генеральної мети;
2. формування переліку підцілей;
3. впорядкування цілей;
4. визначення цільових нормативів;
5. встановлення коефіцієнтів відносної важливості рівнів «дерева цілей»;
6. розробка комплексу заходів, що забезпечують досягнення поставлених цілей;
7. формування критеріїв вибору заходів;
8. вибір оптимальних заходів на основі заданих критеріїв;
9. визначення складу та обсягів ресурсів для реалізації обраних заходів.

Дерево цілей являє собою зв'язний граф, вершини якого інтерпретуються як цілі системи, а ребра або дуги – як зв'язки між ними. Це основний інструмент узгодження цілей верхнього рівня організаційної структури підприємства з конкретними засобами їх досягнення на нижньому, операційному рівні (Рис. 4.1).

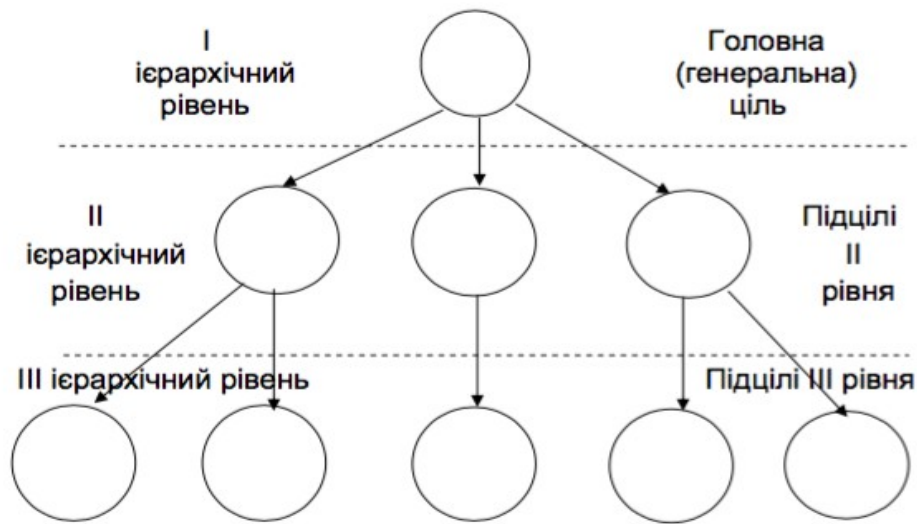


Рис. 4.1. Дерево цілей

Існує багато методів, використовуваних у системному аналізі, кожен з них має свої переваги та недоліки, а також сферу застосування стосовно як типу об'єкта, так і етапу його дослідження.

Постановка будь-якого завдання полягає в тому, щоб перевести його словесний, вербальний опис у формальний (за допомогою математичних залежностей між величинами у вигляді формул, рівнянь, систем рівнянь).

Між неформальним, образним мисленням людини та формальними моделями класичної математики склався так званий «спектр» методів системного аналізу (методів опису моделі, методів моделювання систем), які допомагають отримувати та уточнювати (формалізувати) вербальний опис проблемної ситуації, з одного боку, та інтерпретувати формальні моделі, пов'язувати їх з реальною дійсністю, з іншого (Рис. 4.2).

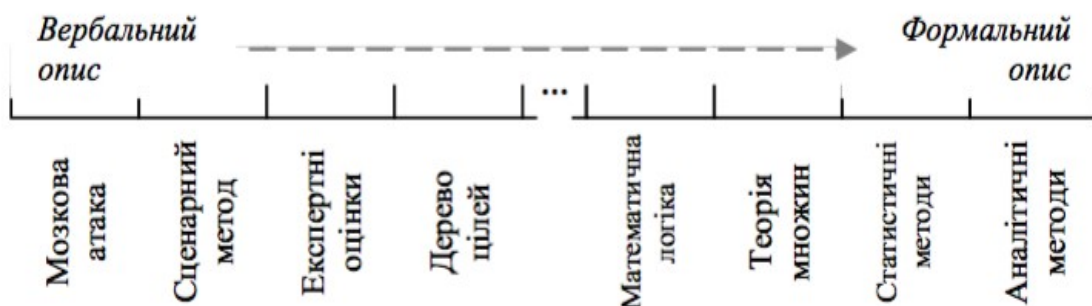


Рис. 4.2. Спектр методів системного аналізу. Якщо послідовно змінювати методи «спектру» (не обов'язково використовуючи все), можна поступово перейти до формальної моделі.

Існують різні модифікації і класифікації цих методів. Найчастіше прийнято розділяти методи, використовувані в системному аналізі (методи моделювання систем) на три великі класи: методи формалізованого подання систем, методи активізації інтуїції фахівців та спеціальні методи (Рис. 4.3).



Рис. 3.4. Класи методів моделювання систем

Методи типу “мозкової атаки”

Основна мета методів даного типу - пошук нових ідей, їх широке обговорення і конструктивна критика. Гіпотеза полягає в припущенні, що серед великої кількості ідей є, щонайменше, декілька хороших.

При проведенні обговорень з досліджуваної проблеми застосовуються такі правила:

1. Сформулювати проблему в основних термінах, виділивши центральний пункт.
2. Не оголошувати неправдивої і не припиняти дослідження жодної ідеї.
3. Підтримувати ідею будь-якого роду, навіть якщо її доречність здається сумнівною.
4. Надавати підтримку і всіляке заохочення, щоб звільнити учасників обговорення від скутості.

При всій простоті подібні обговорення дають хороші результати.

Метод «мозкової атаки» («мозкового штурму») – це системно організована інтелектуальна діяльність кваліфікованих фахівців, що використовують прийоми і способи роботи мозку для колективної генерації ідей.

Етапи методу: 1) підготовчий; 2) генерації ідей; 3) аналізу й оцінки ідей.

Вважається, що обмеженням на шляху оригінальних рішень, що виникають у мозку людини, є критичність. Людина, особливо в діло-вому середовищі, боїться показатися смішною через нестандартність свого рішення. Щось подібне до синдрому «страху виглядати дурним». Наділений таким синдромом фахівець (а їх більшість у реальному професійному середовищі) поступово втрачає здатність думати «не як всі», пропонувати зухвалі, оригінальні ідеї. Тому одна з головних умов «мозкової атаки» – уникнення критичних зауважень. Результат досягається використанням фахівцями групової роботи, відповідними правилами формування групи і ходу обговорення проблем, певними процедурними вимогами до поведінки учасників.

При створенні групи враховується: неоднорідність знань, досвіду та соціально-функціонального складу її членів. Остання вимога враховує не тільки різноманітність посадового складу учасників, а й характер їх залежності від організацій, яким доведеться реалізувати ухвалені рішення. Більшість членів групи мають бути незалежними один від одного, не пов'язані з майбутніми виконавцями особистими інтересами.

При створенні колективу використовується принцип змагання: до групи вводять представників різних наукових шкіл або організовується паралельна група. Склад групи періодично оновлюють, до неї вводять нових членів, що пожвавлює функціонування колективу, підвищує ініціативу, творчий настрій решти членів групи.

Організуючи хід обговорення проблеми, членів групи інформують про тему роботи, а не про саму проблему. Цим досягається спонтанність підходу до її розв'язання. При виступі члена колективу подається перелік ідей, критика будь-яких ідей забороняється, спори не проводяться, порівняльні оцінки не робляться. Дозволяється використовувати і чужі ідеї, і навіть найутопічніші.

На етапі оцінки критика і оцінка здійснюються за спеціальними критеріями: відповідність конкретним вимогам, можливість і час реалізації ідей в інших сферах діяльності.

Штурм розпочинається з призначення ведучого. Він відповідає за організацію і процедурну частину роботи. Його функції:

формулювання і переформулювання завдання;

підбір учасників для подальших етапів роботи;

вирішення організаційних питань (приміщення і організація просторового середовища, технічне оснащення, розподіл ролей серед учасників та ін.).

Обов'язки ведучого полягають у тому, щоб під час генерування ідей забезпечити психологічну підтримку учасників і управляти творчим процесом для розширення або звуження поля пошуків; упродовж всього штурму вводити «генераторів» у стан максимальної творчої розкритості, душевного піднесення, концентрації думки на даному об'єкті.

Учасників мозкового штурму поділяють на дві групи:

«генератори» – люди з позитивною установкою на творчість, які володіють яскравою фантазією, здатні швидко підхоплювати чужі ідеї і розвивати їх;

«аналітики» – фахівці, які володіють великою кількістю знань з досліджуваного питання, здатні критично оцінити висунуті ідеї.

Умови мозкового штурму:

1. Перевага надається кількості висловлених ідей, а не їх якості.
2. Під час висунення ідей, як зазначалося, заборонена їх критика, несхвальні зауваження, іронічні або саркастичні репліки.
3. Створюється і підтримується така обстановка, у якій припустимі жарт, каламбур і сміх.
4. Ідеї висловлюються короткими пропозиціями.
5. Схвалюються зовні і приймаються всі висловлені ідеї, причому перевага надається не систематичному логічному мисленню, а осяянням, неприборканій і безмежній фантазії в найрізноманітніших напрямках.
6. Висловлені раніше ідеї будь-який учасник мозкового штурму може розвивати, комбінувати, та створювати нові асоціативні комбінації.
7. Між учасниками мозкового штурму підтримуються демократичні і дружні відносини; ідеї можуть висуватися без обґрунтування.
8. Дозволяється висунення свідомо нереальних, фантастичних, жартівливих ідей.

Оптимальний чисельний склад групи 6-10 осіб. Усі ідеї записуються та стенографуються. Група за сеанс може видати більше 100 ідей.

Завдання «аналітиків»: розвивати висунуті на етапі генерації ідеї для їх конкретизації, узагальнювати ідеї, здійснювати їх експертизу.

Повна тривалість мозкового штурму 1,5-2 години за регламентом:

- представлення учасників і ознайомлення їх з правилами, поділ на групи «генераторів» і «аналітиків» – 5-10 хв;

- завдання і інструктаж з відповідями на питання – 10-15 хв;
- генерація ідей – 10-15 хв; -перерва – 10 хв;
- аналіз ідей – 10-15 хв;
- складання відредагованого списку ідей – 10–15 хв.

Різноманітні заходи щодо психологічного налаштування і психоевристичного стимулювання (чай, кава й інші напої, тиха фонова музика, натуральний зразок, макет або ескіз об'єкта, які потрібно поліпшити тощо) значно підвищують продуктивність мислення розробників.

За допомогою мозкового штурму доцільно розвивати осіб, зайнятих збутом, науковими дослідженнями, фінансовими і інженерними обов'язками, маркетологів і фахівців з реклами, комерційних директорів.

Синектика – найбільш потужна зі створених за кордоном методик психологічної активізації творчості – є подальшим розвитком мозкового штурму.

Термін «синектика» в перекладі з грецької означає «поєднання різ-норідних елементів». Мета синектики – спрямувати спонтанну діяльність головного мозку і нервової системи на дослідження і перетворення проектної проблеми. Організація проведення синектичного засідання запозичена з мозкового штурму, проте відрізняється від нього використанням деяких прийомів психологічного налаштування, зокрема дуже активним застосуванням аналогій. Групу синектиків становлять – 2–3 фахівці ззовні, які представляють різні професії, кілька працівників основної організації, які володіють гнучким мисленням, мають широкий діапазон знань і великий практичний досвід. Бажані контрастні психологічні типи учасників.

Процес синектики містить такі етапи:

1. Формулювання проблеми. Після визначення основного формулювання проблеми починається дискусія, мета якої – відхилення очевидних рішень, які навряд чи дадуть щось більше, ніж просте поєднання існуючих рішень.
2. Перетворення незвичайного на звичне. Пошук аналогій, що дозволяють виразити задану проблему в термінах, добре знайомих членам групи з досвіду їх роботи.
3. Розв'язання проблеми. Обговорюється її розуміння (хто як зрозумів), при цьому визначаються головні труднощі і суперечності, що перешкоджають вирішенню проблеми.
4. Навідні питання. Синектор (ведучий) пропонує користуватися одним з типів аналогій для ухвалення нового рішення.

Коли з'являється перспективна ідея, її розвивають словесно до того моменту, коли члени групи зможуть виготовити і випробувати грубі прототипи пристрою або моделі.

Аналогії можна розглядати як засоби для зсуву процесу дослідження структури проблеми з рівня усвідомленого мислення на рівень спонтанної активності головного мозку.

Метод синектики корисний для навчання бізнесменів, підприємців і менеджерів, фінансистів і маркетологів, фахівців з реклами та ін.

Метод асоціацій

Асоціативний метод активізації творчого мислення ґрунтується на застосуванні в творчому процесі семантичних аналогій і вторинних смислових відтінків. Основними джерелами для генерування ідей служать асоціації, метафори і випадково вибрані поняття.

Між двома абсолютно різними, не пов'язаними поняттями можна здійснити логічний зв'язок, тобто встановити асоціативний перехід у чотири-п'ять етапів.

Наприклад, два різні поняття – «деревина» і «м'яч». При здійсненні асоціативного переходу виходить ланцюжок: деревина – ліс, ліс – поле, поле – футбольне, футбольний – м'яч. Для виникнення асоціацій і генерування ідей можна використовувати різні метафори.

Зручніше застосовувати прості види метафор:

- бінарні метафори-аналоги (дзвоник заливається, дуги брів);
- метафори-катахрези, що містять суперечності (сухопутний моряк, круглий квадрат);
- метафори-загадки («туман над лісом» – косинка).

Перевагою метафоричного мислення є високий рівень оригінальності. Генерування метафор розвиває творче мислення.

Метод записника

До записника заноситься формулювання проблеми, яку потрібно вирішувати, і всі відомі факти, що мають прямий або непрямий стосунок до її вирішення. Потім починається ґрунтовний роздум з приводу шляхів вирішення проблеми, при цьому щоразу робляться записи в записнику з приводу нових думок або ідей. Щодня цьому присвячується певний час. День від дня збільшується кількість записаних варіантів. Наприкінці місяця аналізуються всі записи і складається список найкращих ідей і пропозицій.

Цей метод можна використовувати і для колективної роботи з генерування ідей, але тоді записник повинен бути в кожного учасника творчого процесу. Головний координатор наприкінці місяця збирає всі записи і зводить всі кращі ідеї в загальний список, уникаючи однакових пропозицій, а потім організує колективне обговорення й експертизу пропонованих ідей. Вибираються кращі. Для того щоб привнести в роботу об'єктивність, доцільно заздалегідь визначити критерії відбору ідей, наприклад за ступенем новизни і конструктивністю, за ступенем обґрунтованості або ресурсного забезпечення реалізації, за появою потенційних проблем після впровадження.

Використання методу дозволяє:

- виявляти й визначати значущість проблеми, чинників, що справляють вплив, і концепцій її вирішення;
- долати недоліки традиційних способів вирішення проблемних ситуацій (наприклад, нарад);
- в обмежений час знайти вирішення несподіваного завдання.

Метод дискусії

Це метод підготовки рішень за участю широкого кола учасників, ознайомлення їх з поглядами один одного, виявлення різних позицій, інтересів, їх узгодження й інтеграції. Це спільний пошук оптимальних шляхів вирішення проблем, що спирається на результати практики і на її наукове осмислення.

Дискусія передбачає вільний виклад учасниками своїх позицій, зіставлення різних підходів, публічне обговорення переваг і недоліків суперечливої проблеми. Досягається це відповідною організацією спільної роботи учасників, застосуванням необхідних методичних прийомів і способів.

Використання методу дозволяє:

- вирішити важливі наукові, державні і господарські проблеми;
- виявляти й узгоджувати інтереси різних соціальних груп, довести до кожного члена організації і суспільства в цілому необхідність певного порядку дій;
- сформуванню необхідну організаційну культуру фірми.

Ліквідація тупикових ситуацій (метод ліквідації «глухого кута»)

Аналіз творчої діяльності виявляє низку способів зміни підходу до розв'язання проблеми, коли робота зайшла в безвихідь.

Ці способи не відповідають послідовній методиці, і їх можна поділити на кілька типів:

- переоцінка управлінської ситуації;
- правила перетворень, що дозволяють модифікувати наявне незадовільне рішення або якісь його частини;
- пошук нових взаємозв'язків між частинами наявного незадовільного розв'язання;
- розгляд ситуації з іншої позиції, іншого боку.

Відомі такі можливі перетворення:

1) використовувати по-іншому; 2) пристосувати; 3) модифікувати; 4) посилити; 5) ослабити; 6) замінити; 7) обернути; 8) об'єднати, тобто тезаурус може бути багатим джерелом зіставлень груп різних понять, які, будучи синонімами, здатні «підказати» вихід з безвихідного стану.

Використання методу дозволяє знайти нові напрями пошуку, якщо очевидна сфера пошуку не дала прийняттого рішення. Застосовується в разі

недостатнього знайомства зі сферою пошуку, вимагає використання «розумових трюків» та певних зусиль.

Метод аналогій

Метод полягає в застосуванні організаційних форм, що виправдали себе у функціонуючих системах управління зі схожими економіко-організаційними характеристиками. Суть методу полягає в розробленні типових рішень (наприклад, типової оргструктури управління персоналом) і визначенні меж і умов їх застосування.

Розв'язання завдання або проблеми здійснюється спеціальною групою фахівців, які використовують обговорення аналогій як засіб для орієнтування свого спонтанного мислення на поставлену проблему.

Зазвичай використовуються аналогії чотирьох типів:

1. прями аналогії (реальні), що знаходяться в біологічних системах (подібність суспільства до людського організму);
2. суб'єктивні аналогії – це уявлення себе, як можна використати власне тіло для досягнення результату (увійти в роль президента компанії);
3. символічні (абстрактні) аналогії – поетичні метафори і порівняння, в яких характеристики одного предмета ототожнюються з характеристиками іншого (залізна завіса, холодна війна);
4. фантастичні (нереальні) аналогії – дозволяють уявити собі речі такими, якими їх хотіли б бачити, а не такими, якими вони є.

При використанні цього методу серед фахівців, які входять до групи, повинна бути створена довірна атмосфера.

Послідовність вирішення проблеми на практиці є такою:

1. Формулювання проблеми, керівниками організації.
2. Організація дискусії з метою з'ясування поглядів щодо очевидних рішень, їх поєднання.
3. Перетворення незвичайного на звичайне, тобто пошук аналогій, що дозволяють виразити задану проблему в термінах, знайомих всім членам групи.
4. Виявлення основних перешкод, що заважають вирішенню проблеми.

Кожним членом групи пропонується варіант розв'язання з використанням одного типу аналогій. Результат застосування методу залежить від інтенсивності й широти пошуку аналогічних ситуацій.

Для забезпечення пошуку аналога необхідне узагальнення відомостей про досвід роботи персоналу управління, тобто створення запасу рішень аналогічно. Це робить необхідним володіння спеціальним пошуковим апаратом, здатним за певними ознаками здійснити пошук аналога.

Застосування методу вимагає спеціальної кваліфікації членів групи і керівництва. Аналогії, що використовуються, можуть розглядатися як метамова, яка дозволяє обговорювати не тільки структуру проблеми і моделі альтернативних рішень, а й зіставні структури в навколишній дійсності, у мові і у функціях людського організму.

Метод програмного прогнозування

Метод використовується для визначення ймовірності настання тих чи інших подій і оцінки ймовірного часу їх настання. Цей метод є узагальненням методу Делфі з методом мережевого планування і управління «Перт».

Метод евристичного прогнозування (МЕП)

Полягає в отриманні та спеціалізованому обробленні прогнозних оцінок об'єкта шляхом систематизованого опитування високо-кваліфікованих фахівців у вузькій сфері діяльності. Експертні оцінки відображають індивідуальну думку фахівця, засновану на мобілізації професійного досвіду та інтуїції.

МЕП схожий за технікою методу колективної генерації ідей із методом колективної експертної оцінки. Схожість виявляється в самому факті збирання і обробки думок експертів. Відмінністю ж є більш чітка теоретична основа, способи формування анкет і таблиць, порядок роботи з експертами і порядок оброблення отриманої інформації.

На основі МЕП формується уявлення про перспективи розвитку галузей науки, техніки, систем управління тощо.

Метод екстраполяції

Екстраполяційним методом пошуку рішень називають групу прийомів і способів, заснованих на логічній процедурі перенесення висновків, отриманих в межах спостереження за якийсь проміжок часу, на явища, що знаходяться поза межами спостереження.

Часто розрізняють два види екстраполяції:

1. часову (тобто поширення закономірностей розвитку об'єкта в минулому на розвиток цього об'єкта в майбутньому);
2. просторову (тобто перенесення властивостей однієї частини об'єкта управління на цілий об'єкт або інші його частини).

Сутність методу полягає у вивченні історії функціонування системи в минулому і сьогоденні, перенесенні закономірностей її розвитку на майбутнє. Наприклад, погода минулого липня була такою, змінювалася за певною закономірністю, у нинішньому липні картина погоди повторилася й існує велика ймовірність, що і в подальші роки ця тенденція зберігатиметься.

При цьому дії зазначених закономірних явищ екстраполюють в майбутнє і отримують інформацію, необхідну для ухвалення рішення. Екстраполяція може здійснюватися на основі статистично встановлених тенденцій зміни характеристик об'єкта.

Розрізняють такі види екстраполяції:

- екстраполяція кількісних характеристик;
- екстраполяція функціональних характеристик;
- екстраполяція системних і структурних характеристик.

На практиці використовуються різні форми екстраполяції. Найчастіше бувають: функціональні залежності, імовірнісні залежності, зразкові якісні характеристики або емпірично побудовані криві.

Метод екстраполяції найчастіше застосовується для прогнозування параметрів керованої системи. Прогнозування базується на гіпотезі, що в майбутньому розвиватиметься тенденція, зафіксована в минулому або сьогодні. Ця впевненість ґрунтується на припущенні того, що надалі не очікується зміни чинників впливу. Таке уявлення не завжди виявляється правильним, оскільки збереження тенденції залежить від взаємодій її з іншими тенденціями, а врахування цих взаємодій не завжди можливе.

Метод екстраполяції набуває поширення в теорії і практиці управління. Найуспішніше він застосовний в умовах стабільності розвитку прогнозованого явища, монотонності зміни його характеристик.

Спеціальні методи моделювання систем

Імітаційне моделювання

Імітаційна модель у вихідному розумінні - опис системи і зовнішніх впливів, алгоритмів функціонування системи або правил зміни її стану під впливом зовнішніх і внутрішніх збурень у ситуаціях, коли алгоритми і правила не дають можливості використання наявних математичних методів аналітичного і чисельного рішення, але дозволяють імітувати процес функціонування системи і робити обчислення цікавлять характеристик. Імітаційні моделі створюються для набагато більш широкого класу об'єктів і процесів, ніж аналітичні та чисельні.

У широкому розумінні термін означає цілеспрямовані серії багатоваріантних досліджень, що виконуються на комп'ютері із застосуванням математичних моделей. Відомі різні підходи до імітаційного моделювання. Але в будь-якому варіанті цей напрям відповідає основній ідеї системного аналізу – поєднанню можливостей людини як носія цінностей, генератора ідей для ухвалення рішень з формальними методами, що забезпечують можливості застосування ІТ.

Імітаційне динамічне моделювання

Метод використовує зручну для людини структурну мову, що допомагає виражати реальні взаємозв'язки, які відображають у системі замкнуті контури управління й аналітичні уявлення. Дозволяє реалізовувати формальне дослідження отриманих моделей на комп'ютері з використанням спеціалізованої мови DYNAMO.

Ситуаційне моделювання

Цей напрям ґрунтується на відображенні в пам'яті комп'ютера і аналізі проблемних ситуацій із застосуванням спеціалізованих проблемно-орієнтованих середовищ.

Структурно-лінгвістичне моделювання

Підхід заснований на використанні для реалізації ідей комбінаторики структурних подань різного типу, з одного боку, і засобів математичної лінгвістики – з іншого.

У розширеному розумінні підходу як лінгвістичні засоби використовуються й інші методи дискретної математики, мови, засновані на теоретико-множинних уявленнях, на використанні засобів математичної логіки, семіотики.

Графо-семіотичне моделювання

Ці різновид структурно-лінгвістичного моделювання.

У структурно-лінгвістичному моделюванні застосовуються структури типу «поділу в просторі». У графо-семіотичних моделях формується кінцевий граф послідовності проходження інформації в часі, подібний мережевому, він побудований автоматизовано і більш повно відображає характеристики елементів моделі.

Методи формалізованого подання систем

Аналітичними названі методи, які відображають реальні об'єкти і процеси у вигляді точок (безрозмірних, в строгих математичних доведеннях), що здійснюють будь-які переміщення в просторі (або що взаємодіють між собою) чи володіють якоюсь поведінкою, за допомогою оператора (функції). Поведінка окремих точок або їх взаємодія описується строгими співвідношеннями, що мають силу закону.

Основу понятійного апарату складають поняття класичної математики (формула, функція, система рівнянь, логарифм, диференціал, інтеграл та ін.). Для аналітичних методів характерні чіткість термінології і закріплення за деякими спеціальними величинами певних символів і значень ($\pi = 3,14$, основа натурального логарифма $e = 2,7$ і т. п.).

На базі аналітичних уявлень виникли й розвиваються математичні теорії різної складності – від апарату класичного математичного аналізу (методів дослідження функцій, їх вигляду, способів подання, пошуку екстремумів функцій і т. п.) до таких нових розділів сучасної математики, як математичне програмування (лінійне, нелінійне, ди-намичне тощо), теорія ігор (матричні ігри з чистими стратегіями, диференціальні ігри і т. п.).

Аналітичні методи

Аналітичні методи застосовуються в разі, якщо властивості системи можна відобразити за допомогою детермінованих величин або залежностей, тобто коли знання про процеси і події в деякому інтервалі часу дозволяють повністю визначити поведінку їх поза цим інтервалом. Ці методи використовуються при вирішенні завдань руху і стій-кості, оптимального розміщення, поділу робіт і ресурсів, вибору якнай-кращого шляху, оптимальної стратегії поведінки, зокрема в конфлікт-них ситуаціях тощо.

У той самий час при практичному застосуванні аналітичних уявлень для відображення складних систем слід мати на увазі, що вони вимагають встановлення всіх детермінованих зв'язків між компонентами і цілями системи у вигляді аналітичних залежностей. Для складних багатокомпонентних, багатокритеріальних систем отримати необхідні аналітичні залежності вкрай важко. Більш того, навіть якщо це і вдається, то практично неможливо довести правомірність застосування таких виразів, тобто адекватність моделі даному завданню. У таких ситуаціях слід звернутися до інших методів моделювання.

Графічні методи

До класу графічних методів віднесено різноманітні засоби: графи, структури, гістограми, діаграми, графіки. Вони дозволяють наочно відображати структури складних систем і процесів, що відбуваються. Класифікація вживаних графіків за ознаками і видами наведена в таблиці. Ці методи дозволяють вирішувати питання оптимізації процесів організації, управління, проектування і є математичними методами в традиційному розумінні. У Таблиці 4.1 подано класифікацію графіків за ознаками і видами

Таблиця 4.1

Група	Вид
Графіки, що виражають структури і зв'язки (оргаграми)	Класифікаційні схеми
	Схеми організаційних структур
	Оргасхеми табличного й інших типів
	Схеми проходження інформації
	Схеми робочих процесів (оперограми)
Графіки, що виражають розташування предметів і явищ у часі (хронограми) і в просторі (томограми)	Контрольно-планувальні графіки
	Гармонограми
	Маршрутні графіки
	Плани розташування предметів і робочих місць тощо
Графіки, що виражають кількісні відносини	Графіки порівняння величин, прості і групові
	Гістограми
	Графіки, що виражають структурні порівняння
	Графіки зміни і розподілу величин
Графіки розрахункового характеру	Номограми і т. п

Комбінаторний аналіз

Вивчає дискретні об'єкти, множини (посаднання, перестановки, розміщення і перерахування елементів) і відносини між ними. Для формулювання і

вирішення комбінаторних завдань використовують різні моделі комбінаторних конфігурацій:

- розміщення з n елементів по k (впорядкований набір з k різних елементів деякої n -елементної множини);
- перестановка з n елементів (упорядкований набір з елементів);
- поєднання з n по k (набір k елементів, вибраних з даних n елементів). Набори, що відрізняються тільки порядком проходження елементів (але не складом), є однаковими, цим поєднання відрізняються від розміщень;
- композиція числа n (подання n у вигляді впорядкованої суми цілих позитивних чисел).
- розбиття числа n (подання n у вигляді неврегульованої суми цілих позитивних чисел).

Статистичні методи

Статистичні методи застосовуються в разі, якщо попередній аналіз проблемної ситуації показує, що вона не може бути подана у вигляді добре організованої системи. Основу методу становить відображення явищ і процесів за допомогою випадкових (стохастичних) подій і їх поведінки, які описуються відповідними ймовірнісними характеристиками і статистичними закономірностями.

Статистичні відображення системи в загальному випадку можна подати ніби у вигляді «розмитої» зони в n -вимірному просторі, в яку переводить систему функція $F(S)$. «Розмита» зона характеризує рух і поведінку системи, при цьому її межі задані з деякою ймовірністю P .

На базі статистичних уявлень розвинуто низку математичних теорій:

- теорія ймовірності і математична статистика, яка об'єднує різні методи статистичного аналізу (регресійний, дисперсійний, кореляційний, факторний і т.п.);
- теорія статистичних випробувань, основою якої є метод Монте-Карло, а розвитком – теорія статистичного імітаційного моделювання;
- теорія висунення і перевірки статистичних гіпотез, що виникла для оцінки процесів передачі сигналів на відстані і базується на загальній теорії статистичних вирішальних функцій А. Вальда. Окремим випадком цієї теорії є байєсовський підхід до дослідження процесів передачі інформації в процесах спілкування, навчання й інших ситуаціях в організаційних системах.

Розподіл інструментів системного аналізу залежно від етапу проведення аналітичних робіт

Можливість використання конкретного інструменту залежить від етапу проведення системного аналізу. Поділ інструментів системного аналізу залежно від етапу проведення аналітичних робіт наведений у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Етап системного аналізу		Інструмент
1 Опис системи	1.1 Визначення мети системного аналізу	Метод експертних оцінок, описові моделі, метод Делфі, метод дерева цілей, морфологічний метод, портфельний аналіз
	1.2 Визначення цілей, призначення і функцій системи	
	1.3 Визначення ролі і місця в системі більш високого рівня	
	1.4 Функціональний опис	
	1.5 Структурний опис	
	1.6 Інформаційний опис	
	1.7 Опис життєвого циклу системи	
2 Виявлення та опис проблеми	2.1 Визначення складу показників ефективності і методик їх обчислення	Метод експертних оцінок, діагностичні методи, нормативні імітаційні моделі (оптимізація, імітація, ігри), метод Делфі, економічний аналіз, статистичне моделювання, сценарний метод
	2.2 Встановлення невідповідності між бажаним і фактичним станом справ та його оцінка	
	2.3 Історія виникнення невідповідності та аналіз причин її виникнення	
	2.4 Формулювання проблеми	
	2.5 Виявлення зв'язків досліджуваної проблеми з іншими	
	2.6 Прогнозування розвитку проблеми	
	2.7 Оцінка можливих наслідків проблеми та визначення їх актуальності	
3 Вибір і реалізація напрямку вирішення проблеми	3.1 Структуризація проблеми	Економічний аналіз, статистичне моделювання, сценарний метод, метод Делфі, метод експертних оцінок, морфологічний метод, кібернетичний метод, нормативні імітаційні моделі (оптимізація, імітація, ігри)
	3.2 Визначення вузьких місць у системі	
	3.3 Дослідження альтернативи «вдосконалення системи – створення нової системи»	
	3.4 Визначення напрямів вирішення проблеми	
	3.5 Оцінка можливості реалізації напрямів вирішення проблеми	
	3.6 Порівняння альтернатив і вибір найбільш ефективної	
	3.7 Узгодження і затвердження вибраного напрямку	
	3.8 Виділення етапів вирішення проблеми	
	3.9 Реалізація вибраного напрямку	
	3.10 Перевірка його ефективності	

Розширення можливостей відображення складних систем і процесів порівняно з аналітичними методами можна пояснити тим, що в разі застосування статистичних методів процес постановки завдання частково замінюється статистичними дослідженнями, що дозволяє, не виявляючи всі детерміновані зв'язки між об'єктами (подіями) або компонентами складної системи, отримувати статистичні закономірності й поширювати їх на поведінку системи в цілому.

Проте не завжди можна отримати статистичні закономірності, не завжди може бути визначена репрезентативна вибірка, доведена правомірність застосування статистичних закономірностей. Якщо ж не вдається довести репрезентативність вибірки або для цього потрібний неприпустимо великий час, то застосування статистичних методів може призвести до помилкових результатів. У такому разі доцільно звернутися до методів, що об'єднуються під загальною назвою «методи дискретної математики», які допомагають розробляти мови моделювання, моделі і методики поступової формалізації процесу ухвалення рішення.

Рекомендовані джерела

1. Горбань О.М., Бахрушин В.Є. Основи теорії систем і системного аналізу: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ГУ “ЗІДМУ”, 2004. – 204 с.
2. Навчальний посібник з дисципліни «Системний аналіз» для здобувачів спеціальності 122 – Комп'ютерні науки / Укл.: В.М. Тонконогий, В.О. Вайсман, Л.В. Бовнегра, К.Г. Кіркопуло. Одеса: Нац. ун-т «Одеська політехніка», 2022. – 84 с.
3. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 171 с.
4. Міца О.В., Лавер В.О. Системний аналіз : навч.-метод. посіб. / О.В. Міца, В.О. Лавер. – Ужгород : вид-во ПП «АУТДОР - ШАРК», 2021. – 63 с.
5. Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. Посібник / К.О. Сорока. – ХНАМГ:, 2004. – 291 с.
6. Шушура О.М., Шатохіна Н.К. Системний аналіз : навч. посіб. / О.М. Шушура, Н.К. Шатохіна. – К. : Редакційно-видавничий центр Державного університету телекомунікацій, 2019. – 63 с.

Запитання і завдання для самостійної роботи

Дайте письмові або усні відповіді.

1. Охарактеризуйте метод мережевого планування і управління PERT.
2. Охарактеризуйте поняття SWOT-аналіз.
3. Охарактеризуйте поняття ABC-аналіз.
4. Охарактеризуйте поняття XYZ-аналіз.
5. Охарактеризуйте поняття техніка SMART.
6. Охарактеризуйте поняття методика PATTERN.
7. Охарактеризуйте поняття PEST-аналіз.

8. Охарактеризуйте поняття портфельний аналіз.
9. Охарактеризуйте метод екстраполяції. Наведіть власні приклади. Які обмеження має цей метод?
10. Що означають поняття номограма, гармонограма?
11. Які обмеження мають статистичні методи?

Моделювання як процес пізнання

Системний аналіз, як зазначалося раніше, - це заснована на системному підході сукупність методів і алгоритмів вирішення проблем.

Проблема чи проблемна ситуація виникає тоді, коли усвідомлено, що нас не задовольняє, зрозумілим є напрямок діяльності, але наявних засобів та ресурсів недостатньо для досягнення поставленої цілі.

Основною процедурою системного аналізу є побудова моделей систем і вивчення систем за допомогою цих моделей.

Моделі систем використовують для вирішення конкретних проблем, що виникають у системі.

Кожна модель є певною абстракцією, в якій конкретні характеристики системи замінені описом найбільш загальних властивостей.

Поняття абстракція означає таку форму пізнання, в якій уявно виділяють суттєві властивості і зв'язки предмета і відокремлюють їх від інших випадкових, не суттєвих у даному аспекті властивостей і зв'язків.

Моделі створюються у процесі моделювання.

Моделювання – одна з головних категорій теорії пізнання. На ідеї моделі ґрунтуються методи наукових досліджень як теоретичних, так і експериментальних.

Існує декілька визначень моделі. Найбільш вживані такі:

Модель – це деякий матеріальний чи уявний об'єкт, який за певних умов замінює оригінал і може використовуватися для вирішення проблеми відносно об'єкта – оригінала.

Модель – спеціально створений для зручності дослідження об'єкт, який має потрібний ступінь подібності до модельованого об'єкта, адекватний цілям дослідження, створений суб'єктом чи особою, яка приймає рішення відносно досліджуваної системи.

Модель – це матеріальна, знакова або уявна система, що відтворює, імітує чи відображає принципи внутрішньої організації, функціонування, ознаки, характеристики об'єкта дослідження, безпосереднє вивчення якого неможливе, ускладнене чи недоцільне.

Моделювання є способом пізнання, який 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 має подібні властивості, але дослідження якого економічно вигідніше. Тобто методи моделювання є одним із способів опосередкованого пізнання.

Моделювання - це завжди є співставлення відомого з невідомим за аналогією.

Аналогія - це твердження про схожість в різних об'єктах. На основі аналогії в дослідженнях висуваються гіпотези - припущення, 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 досліджуваному об'єкту.

Модель завжди подібна до об'єкта моделювання. Вона може бути ізоморфна або гомоморфна об'єкту. Модель є *ізоморфною*, коли існує взаємно однозначна відповідність між елементами і зв'язками моделі та об'єкта. У *гомоморфній* моделі відповідність однозначна лише в одному з аспектів.

Гомоморфізм [homomorphism] — поняття математики та логіки, що означає таке співвідношення між двома системами, що:

- а) кожному елементу та кожному відношенню між елементами першої системи відповідають один елемент та одне відношення другої (але не навпаки);
- б) коли для низки елементів першої системи виконується деяке відношення, то й для низки відповідних елементів другої системи виконується відповідне відношення.

Прийнято говорити, що друга система (як сукупність елементів і відношень) є *гомоморфним образом (відображенням)*, моделлю першої системи, яка називається *оригіналом (прообразом)* (Рис. 5.1).

Подібність моделі з оригіналом завжди неповна. Модель лише приблизно відображає деякі властивості оригіналу. Причому реальна система може мати різні гомоморфні моделі. Отже, поняття гомоморфізму є фундаментальним теоретичним обґрунтуванням моделювання, зокрема математичного.

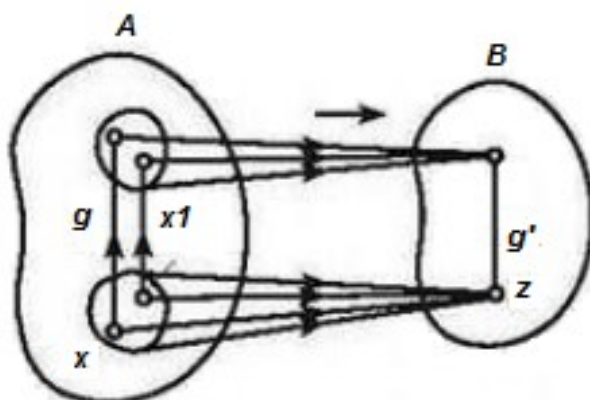


Рис. 5.1. А — оригінал, В — гомоморфне відображення

Процес моделювання пов'язаний із виконанням дослідником певних етапів, 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.

Основними функціями моделей систем є пізнавальні та прагматичні.

Так виникають два найзагальніші класи моделей: пізнавальні і прагматичні моделі.

Пізнавальний аспект моделювання

Моделі 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.

Прагматичний аспект моделювання

Результатом моделювання 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.

Пізнавальні моделі – моделі, які є формою організації та подання знань, засобом одержання нових знань і їх об'єднання з відомими.

Приклади. Лабораторні установки, за допомогою яких студенти вивчають наукові дисципліни, експериментальні установки, створені для розробки певного проекту, моделі, створені за допомогою комп'ютера, схеми електричних мереж, наукові теорії, моделі атома тощо.

Прагматичні моделі – моделі, які є засобом регулювання практичної діяльності, служать для певних практичних цілей, є стандартами, зразками, законом тощо.

Приклади. Реклама зачісок, одягу - це прагматичні моделі, призначені для того, щоб їх наслідувати, виробити певний стиль, забезпечити покупку тих чи інших товарів. Модельний бізнес, фотомоделі – це також прагматичні моделі. Вони служать зразками, еталонами, призначені для виховання певних естетичних уявлень, для копіювання, керівництва в конкретній діяльності. Вимоги стандарту до параметрів інженерних конструкцій - це також прагматичні моделі, які служать цілям забезпечення виробництва та експлуатації технічних засобів. Прагматичні моделі – це також збірки законів, правил, що регламентують поведінку людей.

Поділ на пізнавальні і прагматичні моделі, як і будь-який поділ, є відносним.

Наприклад, твори мистецтва можуть бути як пізнавальними, так і прагматичними моделями. Вони відображають світ, дозволяють глибше його пізнати. З цієї точки зору твори мистецтва є пізнавальними моделями. Але ці ж твори мистецтва можуть бути зразками для наслідування і тоді вони виступають як прагматичні моделі.

Пізнавальні й прагматичні моделі відрізняються своїм співвідношенням моделі та об'єкта моделювання (Рис. 5.2).

Це співвідношення проявляється в тому, як чинять, коли модель не відповідає дійсності.

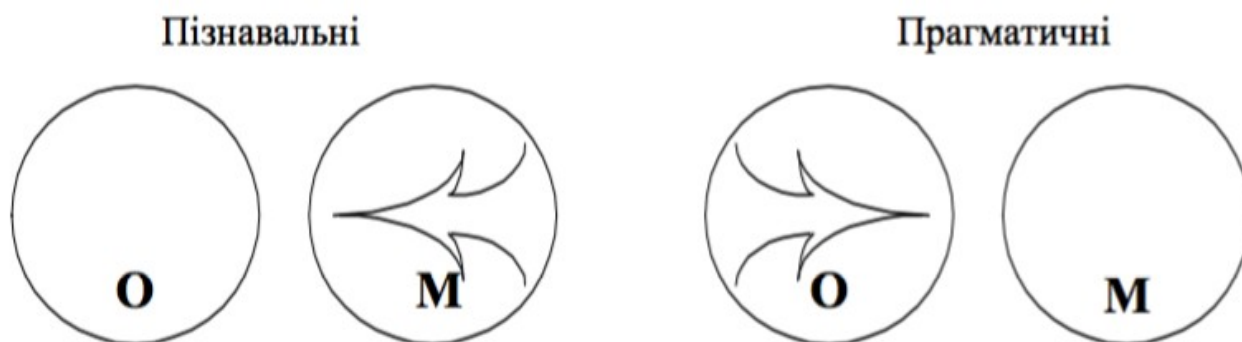


Рис. 5.2. Співвідношення моделі (М) і об'єкта моделювання (О)

Це співвідношення полягає в тому, що коли пізнавальна модель не відповідає дійсності (модель не адекватна оригіналу), то треба змінити модель, коли ж прагматична модель не відповідає дійсності, то навпаки - потрібно змінювати сам об'єкт моделювання.

Приклади. Заміна геоцентричної моделі світу (моделі Птолемея) на геліоцентричну модель Сонячної системи (модель Коперніка).

При порушенні законів суспільства особа, яка їх порушила, карається відповідно до того ж закону.

Властивості моделей

Основними властивостями моделі є:

- обмеженість;
- спрощеність;
- адекватність;
- вірність.

Обмеженість моделей зумовлена обмеженістю ресурсів (матеріальних, енергетичних, інформаційних, часових), які використовуються при створенні моделей.

Спрощеність моделі впливає з її обмеженості. Оскільки модель створена обмеженими засобами, то вона повинна бути спрощена.

Адекватність – здатність моделі дати правильну відповідь на запитання відносно об'єкта відповідно до цілей моделювання.

Вірність моделі – поняття, не тотожне адекватності. Це більш загальне, філософське поняття означає, що модель повністю відповідає дійсності. Судити про вірність моделі не завжди можливо, тому користуються більш вузьким і точним поняттям, а саме поняттям адекватності.

Моделі систем

Формальні і змістовні моделі

Формальні моделі - це окремі типи моделей, подані у формальному, описовому вигляді, в який входять головні ознаки, за якими дана модель суттєво відрізняється від інших.

В описі формальної моделі даються також правила її побудови, складові частини моделі, зв'язки між частинами, вигляд моделі в цілому.

Формальна модель має загальний характер без конкретного наповнення, є немовби каркасом, на основі якого можна побудувати цілий ряд змістовних моделей.

Формальних моделей існує обмежена кількість. В описі формальної моделі абстрагуються від змісту, внутрішнього наповнення, предметної області, для якої створюється модель.

Формальні моделі є абстрактними моделями, описаними абстрактною, найбільш загальною мовою. Залежно від рівня абстракції формальні моделі можуть охоплювати різну кількість систем.

До формальних моделей найвищого рівня абстракції відносяться моделі „Чорний ящик”, “Склад системи”, “Структура системи”, “Структурна схема”.

Змістовні моделі – це моделі, наповнені поняттями конкретної предметної області. Вони будуються на основі формальних моделей, що служать шаблоном, зразком для побудови змістовних моделей.

Створення змістовної моделі - це процес інтерпретації формальної моделі на мові певної предметної області.

Інтерпретація – це встановлення відповідності між формальною і змістовною моделями системи.

Інтерпретація (від лат. “interpretatio” – пояснення, тлумачення) визначається як сукупність значень (змісту), які певним чином надаються елементам деякої системи, теорії чи моделі.

У математиці інтерпретація – це встановлення відповідності, пояснення положень деякої формальної теорії мовою певної змістовної системи, причому

положення змістовної системи повинні бути визначені незалежно від формальної системи. Інтерпретація вважається повною, якщо кожному елементу формальної системи відповідає певний елемент змістовної системи.

У системному аналізі змістовні моделі систем будують на основі формальних моделей.

Формальна модель задає основні положення моделі системи, її елементи, зв'язки, правила побудови, а змістовна модель наповнює ці елементи і зв'язки певним змістом, узятим з конкретної системи, яка досліджується.

Таким чином встановлюється відповідність між елементами формальної моделі та елементами змістовної моделі системи.

У випадках, коли встановлено, що елементи формальної моделі однозначно відповідають елементам змістовної системи, існує взаємно однозначна відповідність, то всі результати, отримані для формальної моделі, підтверджуються в змістовній моделі.

Формальних моделей відома обмежена кількість, тоді як може бути побудовано необмежену кількість змістовних моделей.

Це викликано тим, що за однією формальною моделлю можна побудувати змістовні моделі для безлічі систем навколишнього світу.

З іншого боку, навіть для однієї системи за однією і тією ж формальною моделлю можна побудувати необмежену кількість змістовних моделей, залежно від цілей моделювання, складності системи, досвіду, точки зору і знань того, хто будує модель.

Модель типу „Чорний ящик”

Найпростіша формальна модель – це модель типу „Чорний Ящик”.

Формальна модель типу “Чорний ящик” подається прямокутником, що означає систему. Він обмежений границями, стрілками зображено входи (вхідні величини) та виходи (вихідні величини) системи (Рис. 5.3).

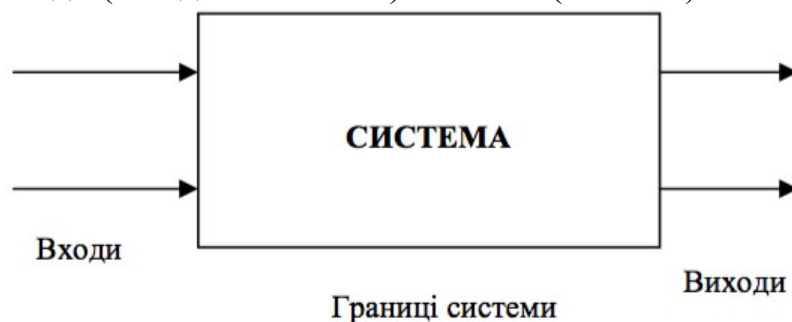


Рис. 5.3. Формальна модель “Чорний ящик”

Входи – це те, що система використовує для своєї діяльності, з чим вона працює і що перетворює.

Виходи – результат діяльності системи, те, що вона створює, в що перетворює вхідні величини відповідно до своїх функцій.

На перший погляд дана модель досить проста і не заслуговує великої уваги. Але ця простота дуже обманлива, за нею скрито багато складних речей. Ці речі виявляються, як тільки від формальної моделі переходять до побудови змістовної моделі.

Модель „Чорний ящик” при своїй простоті є досить корисною.

По-перше, навіть така проста модель може багато сказати про систему. Маючи справу з невідомими для нас об’єктами, якщо ми знаємо їх вхідні й вихідні величини, ми вже досить багато знаємо про ці об’єкти.

Приклади. Вивчаючи клітину, ми з’ясуємо, що в неї надходить і що є на виході. Такі знання вже багато говорять про функції клітини і роль її в організмі. Наші знання про органи людини: серце, легені, нирки та ін. описуються моделлю “чорний ящик”.

Для повсякденного життя знання багатьох систем на рівні “чорного ящика” буває достатнім і потреби в подальшому вивченні не виникає.

Приклад. Побутові прилади: телевізор, холодильник тощо. Споживачу достатньо знати його входи, як і що потрібно подати, змінити, яку кнопку натиснути і який регулятор повернути і можна вільно ним користуватися. Потреби подальшого вивчення його в більшості людей немає.

По-друге, деколи подання системи у вигляді “чорного ящика” є єдиним способом вивчення системи.

Приклади. Вивчення психології людини. Психологи вивчають способи дії на свідомість людини і результати цієї дії. Криміналісти також використовують модель “Чорний ящик”. Дослідження на так званому „детекторі правди” виконуються на рівні моделі “Чорний ящик”: вхід – це слова, вихід - зміни ритму дихання, тиску крові, електричних імпульсів мозку, зміна провідності шкіри, виділення поту і т. ін.

З математичної точки зору модель типу „Чорний ящик” подають у вигляді певного оператора R , який перетворює вхідні величини на вихідні. Цей оператор може бути простим або досить складним. Вивченням систем на такому рівні займається кібернетика, техніка, математика.

Розглянемо питання побудови змістовної моделі системи типу “Чорний ящик”.

Побудова змістовної моделі - це інтерпретація формальної моделі на певну предметну область.

Тобто для побудови змістовної моделі треба присвоїти елементам формальної моделі певні значення.

Якщо, наприклад, потрібно побудувати змістовну модель системи “телевізор”, то як вхідні величини можна розглядати електричний струм живлення телевізора і електромагнітні хвилі, що надходять на антену, а як вихідні величини – зображення, звук, їх характеристики.

Необхідно також врахувати органи керування телевізора і дії споживача при регулюванні його роботи.

Отже, на перший погляд побудова змістовної моделі будь-якої системи за формальною моделі “Чорний ящик” досить проста. Проте за цією простотою можуть приховуватися досить складні речі.

Перше питання, що виникає при побудові змістовної моделі, - визначення границь системи. Воно є досить складним і потребує уважного ставлення.

Вирішення залежить як від самої системи, так і від цілей моделювання, від точки зору моделювання та інших факторів.

Приклади. Система “річка”. Де пролягає границя системи, залежить від цілого ряду факторів. Система „Залізничний вокзал”, де її границі? Привокзальна площа для транспорту входить до неї чи ні? Залізничні колії, на якій відстані віднести їх до системи “вокзал”? Студент на канікулах входить до системи “ЗВО” чи ні?

Друге питання: вибір вхідних величин. Усяка система зв’язана з навколишнім світом безмежною кількістю зв’язків. Які з них слід вибрати як вхідні величини системи?

Модель “чорний ящик” при формальному математичному розгляді дозволяє подати систему у вигляді оператора R , який перетворює вхідні величини у вихідні. Якщо оператор системи враховує, наприклад, зміну в часі, то такий опис системи буде динамічним. Сам оператор може бути простим чи складним. Він може мати одну або декілька вхідних величин. Може змінюватися в часі, залежати від зовнішніх умов.

Отже, модель „Чорний ящик” може бути і надзвичайно складною.

Модель типу “Чорний ящик” займає досить вагоме місце серед моделей системного аналізу, її побудова є одним з важливих етапів вивчення системи і вирішення проблеми.

Побудова моделі є досить складним інтелектуальним завданням, для вирішення якого потрібні глибокі знання проблеми і досвід моделювання.

Модель типу „Склад системи”

В описі системи “Чорний ящик” цілісність і обмеженість виступають як зовнішні характеристики системи.

Ця модель нічого не говорить про те, що являє собою система, з яких підсистем вона складається, як вони взаємодіють.

Вона не дає відповіді на запитання про будову системи, її частин, чи інших систем, які входять до її складу. Відповіді на ці запитання дає модель “Склад системи”.

Будь-яка система завжди є складною, неоднорідною. У ній існують елементи і навіть самостійні системи (підсистеми). Підсистеми можуть також складатися з елементів та підсистем.

Тому за необхідності розглядають ієрархію підсистем, розрізняють підсистеми 1, 2, 3, і т.д. рівня.

Формальна модель типу “Склад системи” подається як прямокутник, який обмежує систему і визначає її границі, і зображення складових частин, елементів та підсистем у границях прямокутника системи.

Як правило, підсистеми зображують прямокутником, а елементи колом чи овалом (Рис. 5.4).

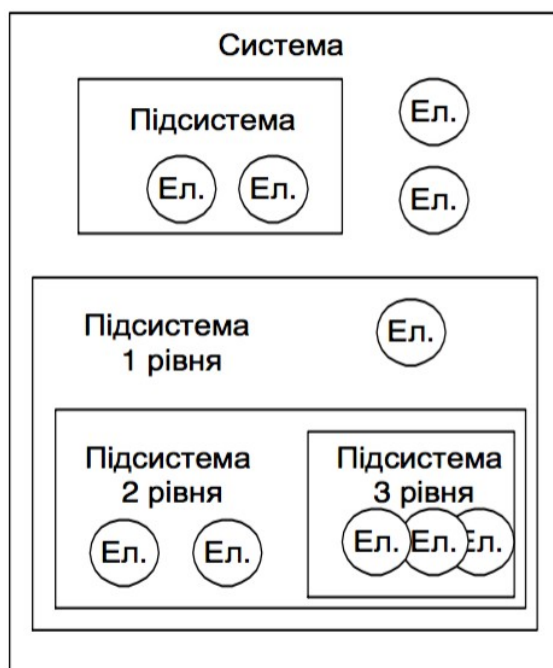


Рис. 5.4. Формальна модель “Склад системи”

Модель “Склад системи” будують на основі вивчення складових частин системи. Після виявленого елементного складу системи (субстрактного аналізу) і зв’язків між елементами (структурного аналізу) маємо морфологічний опис (аналіз) системи. Модель „Склад системи” є подальшим розвитком субстрактного (елементного) аналізу. Цей аналіз залежить від системи, яку вивчаємо, і від цілей моделювання, контексту, рівня знань аналітика.

Наприклад, при виконанні морфологічного аналізу системи “тролейбус” виділено складові частини, наведені у Таблиці 5.1. Залежно від цілей аналізу окремі елементи можуть розглядатись як підсистеми. Підсистемою може бути кабіна водія, двері. У підсистему “двері” може входити полотно дверей, вікно, петлі, механізм відкривання та інші елементи, у підсистему “кабіна водія” - сидіння, вікно, руль, панель керування тощо.

Таблиця 5.1.

Система	Підсистема	Елемент
Тролейбус	Кузов	Каркас Стінки Двері Вікна Кабіна водія Сидіння
	Ходова частина	Рама Колеса Підвіска
	Електросистема	Двигун, Контактор Акумулятор Світильники
	Система керування

Під час побудови змістовної моделі “Склад системи” в першу чергу визначають границі системи, тільки тут їх визначити треба більш чітко ніж при побудові моделі “чорний ящик”, оскільки вони явно входять у модель.

Побудова самої моделі передбачає вирішення питання, як розбити систему на підсистеми і елементи?

Елемент – це найменша відмежована, самостійна частина системи, яка при даному розгляді вважається неподільною.

Що розуміти під поняттям “елемент системи”? Який рівень підсистем треба врахувати? Поняття елемента системи можна розуміти по-різному. Те, що в одному випадку для вирішення однієї проблеми є елементом, в іншому - складною системою.

Побудова змістовної моделі “Склад системи” залежить від:

- цілей моделювання, проблем, які необхідно вирішувати;
- точки зору аналітика;
- контексту вивчення системи;
- ступеня потрібної деталізації;
- рівня знань і досвіду аналітика.

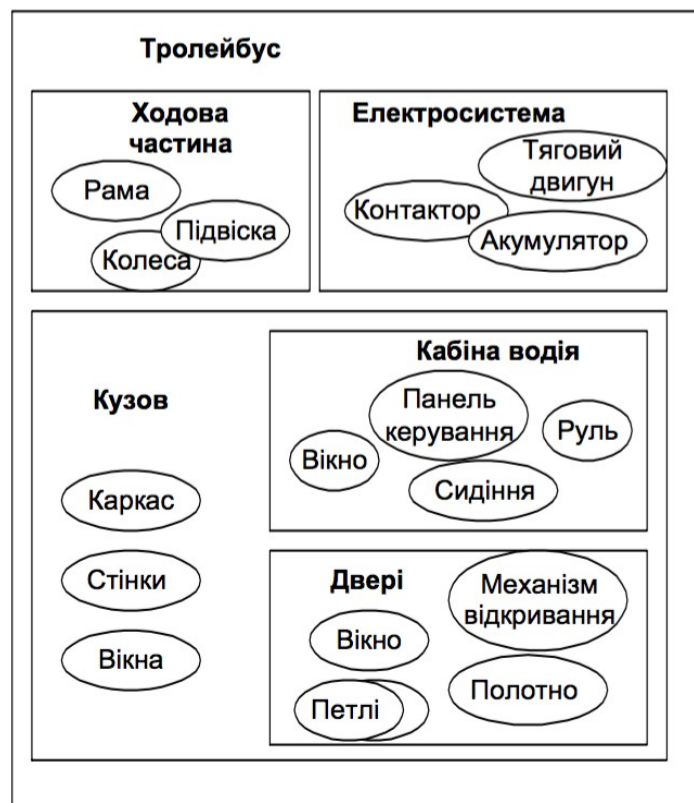


Рис. 5.5. Фрагмент змістовної моделі “Склад системи” для системи “тролейбус”

Модель типу „Структура системи”

Розглянуті моделі послідовно дозволяють збільшувати ступінь знань про систему.

Модель “Структура системи” несе ще більше інформації про систему.

Якщо, наприклад, для системи “сім’я” достатньо вказати склад сім’ї, то для характеристики університету, чи іншої системи одного переліку елементів та підсистем замало. Необхідно ще указати зв’язки між елементами, об’єднати їх в одне ціле, тобто вказати структуру системи.

Під структурою системи розуміють сукупність необхідних та достатніх для досягнення цілі відношень і зв’язків між елементами.

У реальних системах зв’язків між елементами безконечна кількість. Кожен природний об’єкт має безліч зв’язків з усіма іншими об’єктами. Зв’язки в системі можуть відігравати суттєву роль чи бути несуттєвими, а інколи і шкідливими.

У структурі системи вказують сукупність закономірних, суттєвих зв’язків, що забезпечують функціонування системи.

Для вивчення структури системи використовують підходи з використанням:

- теорії множин;
- теорії графів.

У теорії множин структуру виражають відношеннями між елементами. Теорія розглядає подвійні, потрійні та інші відношення, їм у відповідність ставляться бінарні відношення, добутки елементів.

У теорії множин структуру системи описують за допомогою матриць суміжності. Матриця суміжності - це математичний об’єкт, зображений у вигляді прямокутної матриці, елементи якої встановлюють зв’язки і відношення між складовими частинами системи.

Як правило, матриці суміжності, що описують структуру системи, є розрідженими матрицями, тобто матрицями великих розмірів, значна кількість елементів якої дорівнює нулю.

Теорія множин розглядає множини вхідних і вихідних процесів, рівняння, що устанавлюють зв’язки між множинами вхідних і вихідних величин за допомогою операторів переходу. Теоретико-множинний підхід до вивчення теорії систем математично досить розвинений.

Більш простим і менш формалізованим є підхід теорії графів.

Зображення структури подається у вигляді графа. Граф структури системи встановлюють шляхом декомпозиції системи і вивчення зв’язків між складовими частинами.

Формальна модель “Структурна схема” - це, як правило, зображення системи у вигляді графа, хоча під час теоретичного вивчення може бути і матриця суміжності.

Графова модель включає в себе елементи системи, зображені точками чи кружками і зв'язки між ними зображені лініями або лініями зі стрілками. Як елементи в моделі “Структурна схема” розглядають всі складові частини системи, не розрізняючи, підсистема це чи елемент, як це було в моделі “Склад системи”.

Графом G називають деяку сукупність пар елементів вершин і ребер. Вершини зображають у вигляді точки, ребра – лініями.

Пригадаємо деякі поняття теорії графів.

Підграф – підграфом графа G називають граф, всі вершини і ребра якого знаходяться серед вершин і ребер графа G .

Направлений граф – це такий граф, ребра якого мають напрямок.

Ненаправлений граф – граф, у якому напрямок ребер не відіграє ролі або його неможливо визначити.

Зв'язаний граф – це граф, у якого для всяких двох різних вершин існує послідовний ланцюг вершин і ребер, що їх з'єднує.

Зважений граф – це граф, у якому всім ребрам ставиться у відповідність певне число.

Циклом називають будь-яку замкнуту послідовність вершин і ребер.

Деревом називають граф, у якого відсутні цикли.

Остовом графа G називають дерево, в яке входять усі вершини графа G .

Поняття теорії графів широко використовуються при аналізі структури системи. Структура системи відображає зв'язки між елементами. При розгляді структури елементами системи вважають усі складові частини, не виділяючи окремих підсистем, тобто у моделі структури системи підсистему вважають елементом. Структуру системи зображають у вигляді графа. Вигляд графа структури описують його топологією.

Граф може мати таку топологію: лінійну, кільцеву, ієрархічну, деревовидну, мережеву, матричну (Рис. 5.6).

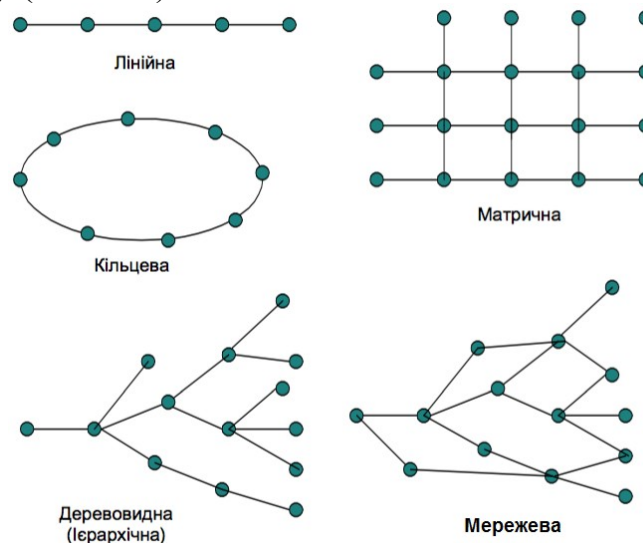


Рис. 5.6 Типи (топологія) структур систем

Лінійна структура – це структура, в якій кожна вершина зв’язана тільки з двома іншими вершинами і є дві крайні вершини.

У системах вона зустрічається часто, наприклад, на виробництві: виготовлення заготовки, послідовні операції обробки, технічний контроль деталі утворюють лінійну структуру.

Кільцева структура – це лінійна структура, в якій крайні вершини зв’язані між собою.

Кільцева структура описує, наприклад, обіг грошей у фінансових організаціях. Вона характерна для технологічних операцій, коли цикл виробництва повторюється багаторазово. В природі це кругообіг води, зміна пір року.

Ієрархічні структури – це структури, в яких елементи розміщені на різних рівнях, причому елементи i -го рівня підпорядковані елементам $i-1$ рівня і впливають на елементи $i+1$ рівня.

Найчастіше вони зустрічаються під час аналізу організаційних систем, в яких є чітка структура підпорядкування. Типовий приклад - це структура підпорядкування в армії. Ієрархічна структура може описувати і будову багатьох складних систем, рівнями яких є підсистеми, як у випадку моделі “Склад системи”.

Для ієрархічних систем зв’язки між елементами можуть мати координаційний та субординаційний характер.

Координаційний характер мають зв’язки між елементами, що знаходяться на одному рівні, субординаційні – між елементами різного рівня.

Деревоподібна структура – це ієрархічна структура, в якій відсутні цикли.

Мережева структура – це різновид ієрархічної структури, в якій можливі зв’язки через декілька рівнів і допускається наявність циклів.

Вона характерна для розробки графіків роботи підприємств, технологічних операцій збирання складних виробів тощо.

Під час виконання системного аналізу для складних систем, особливо організаційних систем, будують декілька структур:

- структуру керування,
- структуру виробництва,
- структуру функціонування та ін.

Вони, як правило, бувають різної топології:

- структура керування – ієрархічна,
- структура функціонування – лінійна чи кільцева,
- структура технологічного процесу – сіткова тощо.

Модель „Структурна схема системи”

Ця модель являє собою сукупність розглянутих трьох типів моделей, а саме: “Чорний ящик”, “Склад системи” і “Структура системи”.

Вона є найбільш детальною та повною моделлю системи.

Її зображують також у вигляді графа, але вузли його, як правило, наповнюють певним змістом, зображають прямокутником, еліпсом чи колом.

У моделі “Структурна схема системи” показують:

- границі системи,
- елементний склад системи,
- зв’язки між окремими елементами,
- зовнішні зв’язки системи.

Формальна модель “Структурна схема” містить елементи системи, зображені, як правило, прямокутниками чи еліпсами, в середині яких записана назва елемента і зв’язки між елементами показані лініями чи стрілками.

Ця модель здобула широке міждисциплінарне визнання.

Її використовують в різних наукових дисциплінах, технічних організаційних та інших документах. Тому існує багато особливостей зображення складових частин на моделі “Структура системи”.

Так, часто зовнішні границі системи на цій моделі не показують, назву системи записують як заголовок чи підпис до моделі, елементи зображають на різних рівнях і по-різному позначають, зв’язки між елементами показують лініями різних типів, стрілками, у вигляді шин та ін.

Модель “Структурна схема” системи примикає до великої різноманітності моделей, кожна з яких має своє призначення і свої особливості.

Модель “Структурна схема” деколи називають моделлю “Білий ящик”, розуміючи під цим визначенням те, що на протигагу моделі “Чорний ящик” у ній повністю показана внутрішня будова системи.

Модель “Структурна схема”, як і інші моделі, залежить від точки зору, цілей аналізу, контексту розгляду системи, тому таких моделей може бути велика кількість.

Як правило, для системи будують кілька моделей, що відображає різноманітність зв’язків у системі, різні підходи до вивчення системи, різні контексти її розгляду.

Динамічні моделі

Це моделі, що зображають динаміку системи. Розрізняють такі види динаміки:

- функціонування,
- зростання,
- розвиток.

Моделі функціонування відображають процеси, що відбуваються в системі і направлені на виконання системою своїх функцій та досягнення цілей.

Моделі зростання і розвитку системи дозволяють простежити розвиток системи протягом деякого більш тривалого проміжку часу.

Процеси зростання і розвитку не є тотожними.

Зростання систем, як правило, пов'язане із збільшенням їх розмірів, включенням в систему деяких об'єктів із зовнішнього середовища, матеріальних та інших ресурсів.

Наприклад, зростання підприємства при збільшенні об'єму випуску продукції полягає в побудові нових виробничих корпусів, закупівлі додаткового обладнання, залученні до роботи більшого числа робітників.

На противагу цьому розвиток може здійснюватись без збільшення розмірів системи, а інколи навіть при її зменшенні.

Наприклад, розвиток сучасних підприємств часто відбувається без збільшення їх розмірів.

Розвиток - це така зміна системи, при якій змінюються зв'язки між елементами, спрощуються відношення, удосконалюється виконання окремих функцій.

Наприклад, розвиток сучасної автомобілебудівної промисловості, металургії та ін. супроводжується удосконаленням технологічних процесів, випуском більш надійних якісних товарів без помітного розширення підприємств.

Як правило, розвиток супроводжується глибокою зміною внутрішньої організації системи, зміною її структури.

Динаміку систем вивчають з використанням математично - множинних методів, заснованих на положеннях теорії множин.

Динаміка системи описується як перехід з одного стану в інший.

Сукупність можливих станів системи називають *множиною станів*.

Системи можуть мати дискретні стани (система може знаходитись тільки в певних, дозволених станах) або неперервні стани (система переходить послідовно з одного стану в інший через безконечну кількість проміжних станів).

Зображення можливих станів системи здійснюється у просторі станів. Це, як правило, абстрактний математичний простір. Описати динаміку системи в просторі станів можна матрицями суміжності або за допомогою графів.

Для вивчення динаміки систем використовують множини вхідних і вихідних процесів.

Динаміку системи розглядають як послідовний перехід системи з одного стану в інший. Теоретико-множинні методи вивчення динаміки систем спрямовані на вивчення керованості системи, стійкості, надійності функціонування, вивчення роботи в даний момент часу і прогнозу розвитку системи в майбутньому.

Деякі питання динаміки систем можна спрощено продемонструвати, якщо представити модель системи у вигляді оператора, який перетворює вхідні величини у вихідні.

Наприклад,

$$y(t) = R[x(t)].$$

Тут R - оператор системи, який діє на вхідну величину $x(t)$.

Величина $x(t)$ може розглядатись, як одна одновимірна величина, або як вектор, тобто сукупність величин $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$...

Це стосується і вихідної величини $y(t)$.

Наведене рівняння описує найбільш просту систему, вихідна величина залежить тільки від значення вхідної величини в кожний момент часу t .

Більш складною є залежність

$$y(t) = R[x(t), z],$$

яка описує дещо складнішу стаціонарну систему. Вихідна величина залежить від вхідної і параметра системи z .

Наступне рівняння таке:

$$y(t) = R[x(t), z(t)],$$

описує нестаціонарну систему: вихідна величина залежить від вхідної і параметра системи $z(t)$, який змінюється протягом часу.

Рівняння ще більш складної динамічної системи можна записати так:

$$y(t) = R[x(t, t-\Delta t), z(t)].$$

Це вже нестаціонарна інерційна система або система з пам'яттю, в ній вихідна величина залежить від значень вхідної величини не тільки в даний час, але й від попередніх значень.

Моделі зовнішнього середовища

Розглянуті моделі є найбільш вживаними при виконанні системного аналізу. Вони описують систему.

Для повноти аналізу їх доповнюють моделями зовнішнього середовища. Ці моделі відображають контекст розгляду проблеми.

Як правило, будують декілька моделей зовнішнього середовища, а саме: модель середовища прямої дії і модель середовища опосередкованої дії, модель властивостей середовища.

На цих моделях систему, як правило, зображують у вигляді еліпса, а зовнішні по відношенню до неї системи у вигляді прямокутників, або прямокутників із тінню, щоб підкреслити той факт, що вони знаходяться в іншій площині, ніж система, яка вивчається (Рис. 5.7).

Середовище прямої дії - це ті навколишні системи, з якими безпосередньо взаємодіє система.

Середовище опосередкованої дії - це системи, безпосередньо з якими дана система не взаємодіє, але вони через існуючі зв'язки впливають на функціонування системи.

Крім цього, у вигляді окремої моделі приводять властивості зовнішнього середовища (Рис. 5.8). Такими властивостями є складність середовища, його рухомість, ступінь визначеності, взаємозв'язок факторів середовища.



Рис. 5.7. Модель зовнішнього середовища

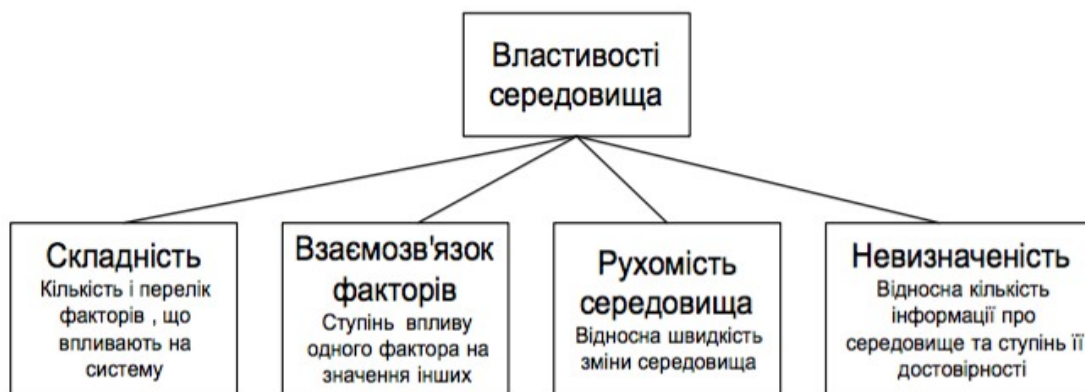


Рис. 5.8. Модель зовнішнього середовища

Рекомендовані джерела

1. Горбань О.М., Бахрушин В.Є. Основи теорії систем і системного аналізу: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ГУ “ЗІДМУ”, 2004. – 204 с.
2. Навчальний посібник з дисципліни «Системний аналіз» для здобувачів спеціальності 122 – Комп’ютерні науки / Укл.: В.М. Тонконогий, В.О.

- Вайсман, Л.В. Бовнегра, К.Г. Кіркопуло. Одеса: Нац. ун-т «Одеська політехніка», 2022. – 84 с.
3. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 171 с.
 4. Міца О.В., Лавер В.О. Системний аналіз : навч.-метод. посіб. / О.В. Міца, В.О. Лавер. – Ужгород : вид-во ПП «АУТДОР - ШАРК», 2021. – 63 с.
 5. Сорока К.О. Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. Посібник / К.О. Сорока. – ХНАМГ:, 2004. – 291 с.
 6. Шушура О.М., Шатохіна Н.К. Системний аналіз : навч. посіб. / О.М. Шушура, Н.К. Шатохіна. – К. : Редакційно-видавничий центр Державного університету телекомунікацій, 2019. – 63 с.
 7. Rumyantsev, Mikhail I. Isomorphism and homomorphism in simulation
 8. https://mpr.aub.uni-muenchen.de/48633/1/MPRA_paper_48633.pdf

Запитання і завдання для самостійної роботи

Дайте письмові або усні відповіді

1. Що таке модель?
2. У чому різниця між пізнавальними і прагматичними моделями? Наведіть приклади пізнавальних і прагматичних моделей.
3. Яке співвідношення між об'єктом моделювання і моделлю для прагматичних моделей? Для пізнавальних моделей? Наведіть приклади.
4. Наведіть приклади використання моделі типу “Чорний ящик” у різних наукових дисциплінах.
5. Опишіть формальну модель типу “Склад системи”.

Завдання 1.

Зауваження. Модель структури призначена для відображення взаємозв'язків (відносин) між елементами даної системи. Модель структури можна розглядати як доповнення моделі складу, яка відтворює елементи системи. Однак, як правило, перелік одних тільки відносин між елементами без самих цих елементів не робиться. Тому модель структури є найбільш повною моделлю, що характеризує як склад основних елементів, так і взаємозв'язки між ними. При побудові моделі структури виділяються види відносин, виходячи з яких вибираються елементи, які беруть участь в цих відносинах.

Наведіть власні приклади реальних систем, в яких спостерігаються наступні типи відношень:

«Частина-ціле».

«Вид-род».

«Управляти роботою».

«Забезпечувати роботу».

«Роль-виконавець».

«Причина-наслідок».

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДОЛОГІЙ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

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

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 (Рис. 6.1).

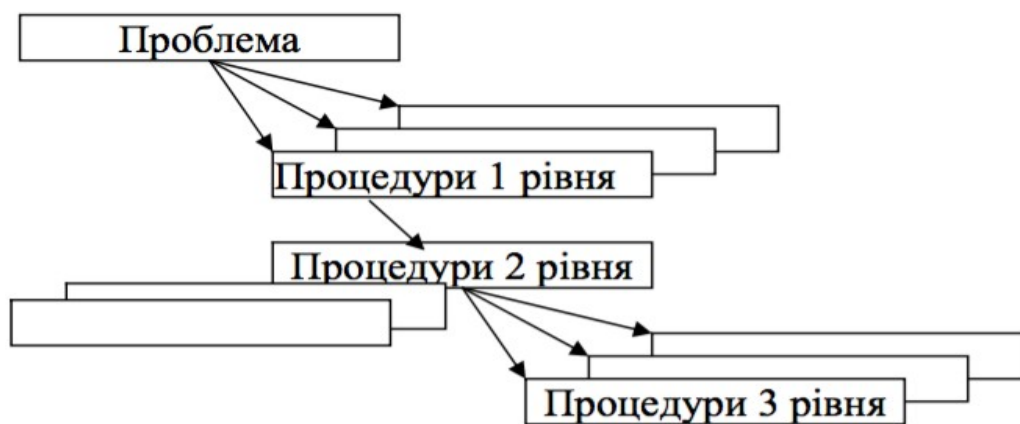


Рис. 6.1. Процес розв'язування проблем в системному аналізі

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.

Кожен 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) (Рис.6.2 а)
2. Паралельно зв'язані цілі досягнення цілей незалежне (Рис.6.2 б).
3. Складно зв'язані цілі. Не можна відразу досягнути якоїсь цілі, спочатку досягаємо однієї цілі, а потім іншої (Рис.6.2 с).

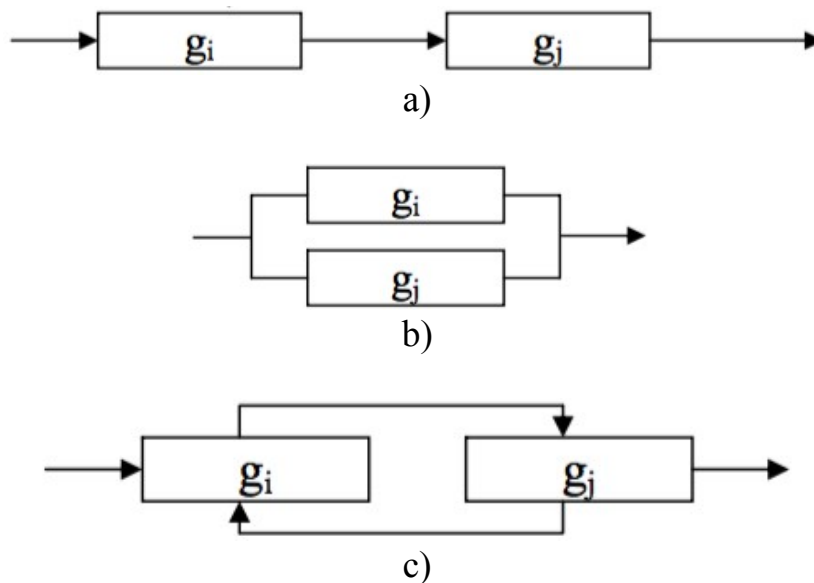


Рис. 6.2. Зв'язки між цілями

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 зворотного 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 урахуванням

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.

Таблиця 6.1.

За С.Л.Оптнером	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, процес 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 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

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 6.1 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.

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

Розвиток або побудова комп’ютеризованої інформаційної системи 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. 6.3.

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.

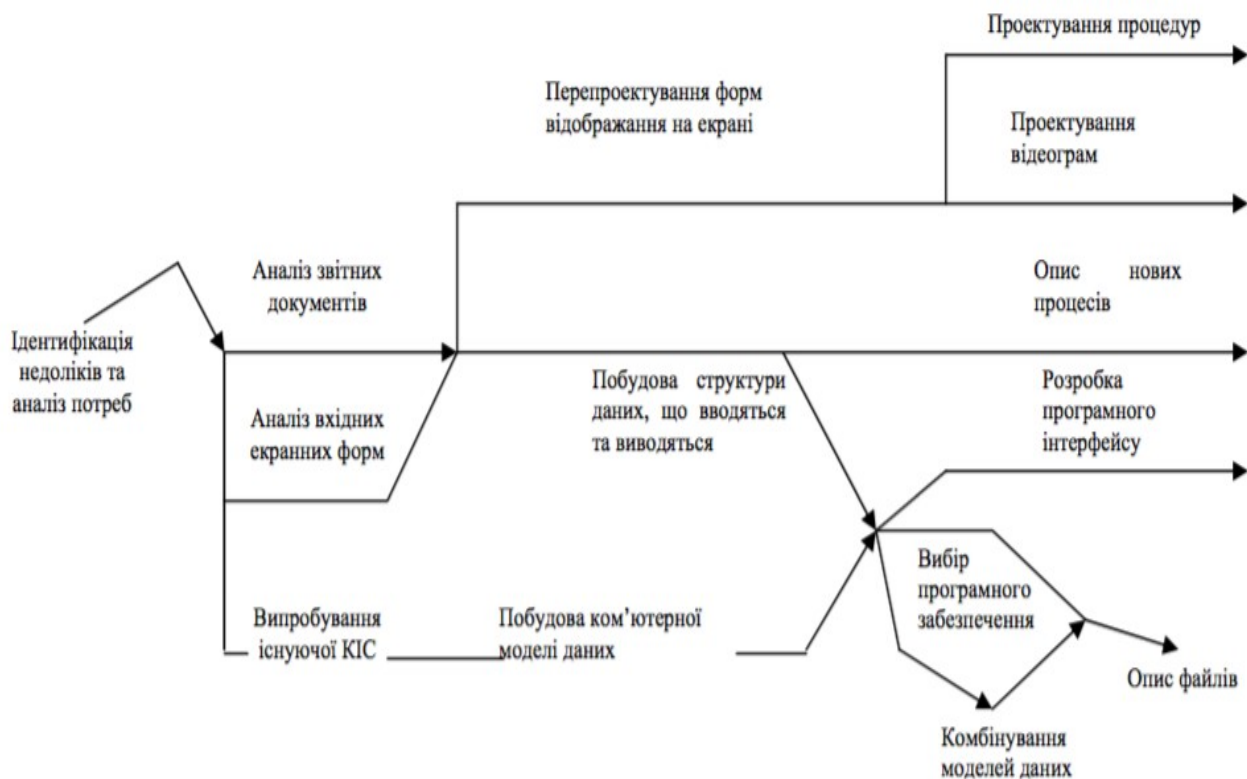


Рис. 6.3. Структура всіх видів діяльності при проектуванні КІС

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 пізніх 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, проектувальниками так і менеджерами для того щоб знати, як просувається проект і направити його по оптимальному руслу.

На рис. 6.4. зображена діаграма, що відображає основні етапи розв'язування проблем.

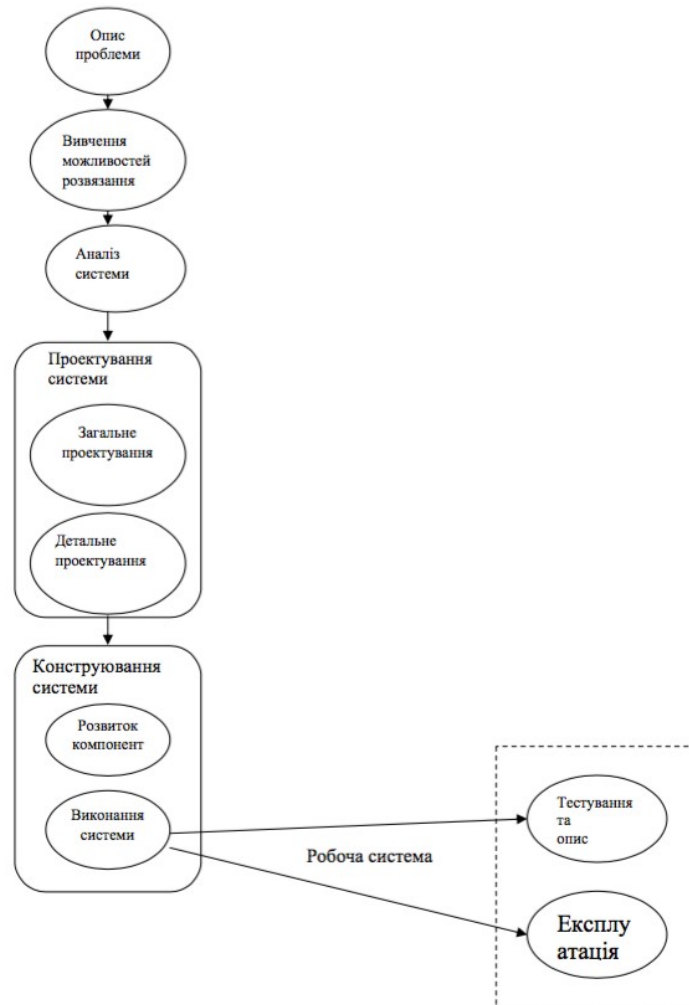


Рис. 6.4. Основні етапи розв'язування проблем

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 проекті, 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 проекту є дуже важливим, тому, що проекти будуть змінюватися в залежності від постановки мети. Мета проекту 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 вибирати ті цілі, які є реальними. Нереальні цілі слід поступово відкидати.

У такий спосіб формулюється 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.

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?

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 відповідно до 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.

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. 6.5.

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

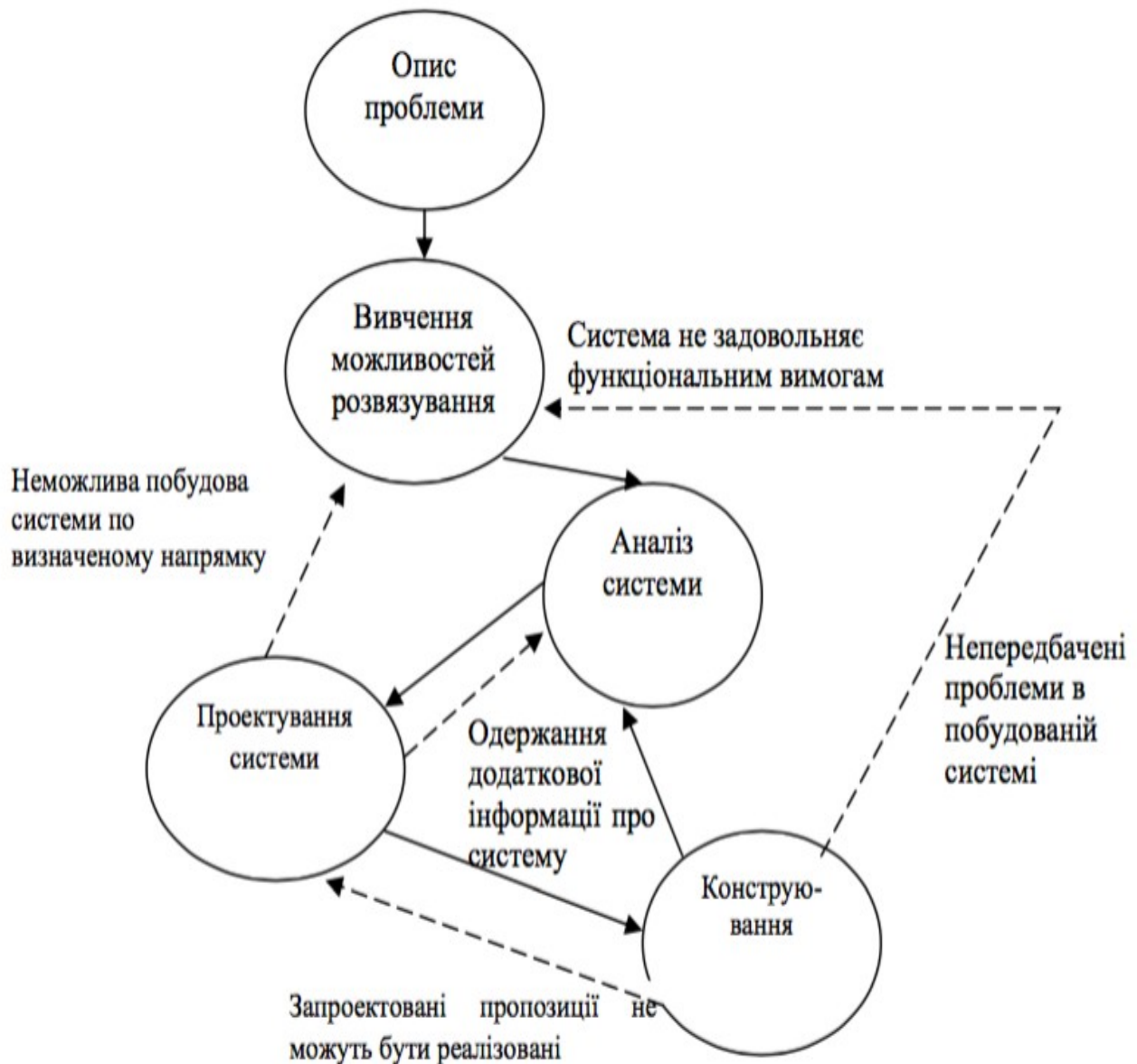


Рис. 6.5. Контурний цикл розв’язування проблем

Методологія системного дослідження

Системне дослідження: етапи і кроки

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

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

I. Формування загальних уявлень про систему

II. Формування поглиблених уявлень про систему

III. Моделювання системи як етап її дослідження

IV. Супровід системи

I. 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 недетермінованість 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 відповідно до 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 системі) 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

11. 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.

Рекомендовані джерела

1. Горбань О.М., Бахрушин В.Є. Основи теорії систем і системного аналізу: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ГУ “ЗІДМУ”, 2004. – 204 с.
2. Навчальний посібник з дисципліни «Системний аналіз» для здобувачів спеціальності 122 – Комп'ютерні науки / Укл.: В.М. Тонконогий, В.О. Вайсман, Л.В. Бовнегра, К.Г. Кіркопуло. Одеса: Нац. ун-т «Одеська політехніка», 2022. – 84 с.
3. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 171 с.
4. Міца О.В., Лавер В.О. Системний аналіз : навч.-метод. посіб. / О.В. Міца, В.О. Лавер. – Ужгород : вид-во ПП «АУТДОР - ШАРК», 2021. – 63 с.
5. Сорока К.О. Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. Посібник / К.О. Сорока. – ХНАМГ:, 2004. – 291 с.

6. Шушура О.М., Шатохіна Н.К. Системний аналіз : навч. посіб. / О.М. Шушура, Н.К. Шатохіна. – К. : Редакційно-видавничий центр Державного університету телекомунікацій, 2019. – 63 с.
7. Romyantsev, Mikhail I. Isomorphism and homomorphism in simulation https://mpira.ub.uni-muenchen.de/48633/1/MPRA_paper_48633.pdf

Запитання і завдання для самостійної роботи

Завдання. Опишіть кожен з етапів життєвого циклу для наведених систем.

Задача 1. Інформаційна система житлового агентства

Огляд: інформаційна система житлового агентства дозволяє квартиронаймачам підібрати та зняти житло, а власникам житла – запропонувати та здати житло.

Задача 2. Інформаційна система технічної експертизи

Огляд: інформаційна система технічної експертизи дозволяє претендентам грантів подавати заявки, незалежним експертам оцінювати заявки, а власникам фонду приймати рішення про видачу грат за результатами експертизи заявок.

Задача 3. Система продажу квитків на футбол

Огляд: система продажу квитків дозволяє купувати та здавати квитки та абонементи на матчі, що проходять на одному стадіоні з нумерованими місцями через кілька одночасно працюючих кас.

Задача 4. Текстовий редактор

Огляд: текстовий редактор дозволяє створювати, редагувати та друкувати текстові файли. Під час відображення файлів спеціальних форматів підтримується підсвічування ключових слів.

Задача 5. Система автоматичного тестування

Огляд: Система дозволяє автоматично запускати тести, відстежувати результати їх виконання та видавати звіти.

Задача 6. Електронна дошка оголошень

Огляд: інформаційна система дозволяє розміщувати та видаляти оголошення про продаж різних товарів.

Список використаних джерел

1. Вступ до загальної теорії систем: Навч. посіб. / І. М. Дудник. – К.: Кондор, 2009. – 206 с.
2. Варенко В. М., Братусь І. В., Дорошенко В. С., Смольников Ю. Б., Юрченко В. О. Системний аналіз інформаційних процесів: Навч. посіб. / В. М. Варенко, І. В. Братусь, В. С. Дорошенко, Ю. Б. Смольников, В.О. Юрченко. – К.: Університет «Україна», 2013. – 203с.
3. Горбань О.М., Бахрушин В.Є. Основи теорії систем і системного аналізу: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ГУ “ЗІДМУ”, 2004. – 204 с.
4. Дивак М.П.Методичний посібник з дисципліни “Системний аналіз”. Тернопіль, 2004. - 136 с.
5. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу. - К. Видавнича група ВНУ, 2007. - 544 с.
6. Крижанівська І.В., Шостачук Д.М. Основи системного аналізу. Житомир 2013. 209 с.
7. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: Курс лекцій. – Тернопіль: Економічна думка, 2005. – 124 с.
8. Ладанюк А.П. Основи системного аналізу. Навчальний посібник. - Вінниця, Нова книга, 2004. -176 с.
9. Мазурок Т.Л., Яновський А.О. Системний аналіз: навчальний посібник до дисципліни «Системний аналіз». Одеса: ПНПУ ім. К.Д. Ушинського, 2022. 250 с.
10. Міца О.В., Лавер В.О. Системний аналіз : навч.-метод. посіб. / О.В. Міца, В.О. Лавер. – Ужгород : вид-во ПП «АУТДОР - ШАРК», 2021. – 63 с.
11. Навчальний посібник з дисципліни «Системний аналіз» для здобувачів спеціальності 122 – Комп’ютерні науки / Укл.: В.М. Тонконогий, В.О. Вайсман, Л.В. Бовнегра, К.Г. Кіркопуло. Одеса: Нац. ун-т «Одеська політехніка», 2022. – 84 с.
12. Прокопенко Т.О. Теорія систем і системний аналіз : навч. посіб. / Т.О. Прокопенко; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. - Черкаси: ЧДТУ, 2019. - 139 с.
13. Сорока К.О. Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. Посібник / К.О. Сорока. – ХНАМГ:, 2004. – 291 с.
14. Теорія систем і системний аналіз : конспект лекцій / укладач С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 171 с.
15. Чорней Н. Б. Теорія систем і системний аналіз. Навчальний посібник. – К.: МАУП, 2005. – 256 с.
16. Шушура О.М., Шатохіна Н.К. Системний аналіз : навч. посіб. / О.М. Шушура, Н.К. Шатохіна. – К. : Редакційно-видавничий центр Державного університету телекомунікацій, 2019. – 63 с.
17. Колесницький О.К. Основи системного аналізу об’єктів і процесів комп’ютеризації: навчальний посібник / О.К. Колесницький, О.М.Роїк, І.В.Бокоцей. - Вінниця, ВНТУ, 2013. - 143 с.