

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА

К.О. Сорока

Основи теорії систем і системного аналізу



**Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих
навчальних закладів**

Харків – ХНАМГ - 2004

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА

К.О. Сорока

Основи теорії систем і системного аналізу

**Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих
навчальних закладів**

Харків - ХНАМГ - 2004

УДК 004.7

Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. посібник /К.О. Сорока. – ХНАМГ., 2004. – 291 с.

Посібник призначений для вивчення дисципліни “Основи теорії систем і системного аналізу”. В ньому розглянуто основні поняття і положення теорії систем і методи системного аналізу. Значна увага звернута на використання сучасних комп’ютерних технологій для створення моделей систем в системному аналізі.

Призначений для студентів за напрямками підготовки 1004 “Транспортні технології”.

Лл. – 81. Табл. – 27. Бібліогр. – 45 найм.

Рецензенти:

В.К. Доля, д-р техн. наук, професор (Харківський національний автодорожний університет);

В.П.Абраменко, д-р техн. наук, професор (Харківський національний технічний університет радіоелектроніки).

Гриф виданий Міністерством освіти і науки України,
рішення від 13.10.2003 р., № 14/18.2 – 1641

ISBN № 966–695–056–1

© К.О. Сорока, ХНАМГ, 2004

Вступ

Ми живемо в світі, який відзначається надзвичайною динамічністю, в якому проходять процеси як бажані для нас, так і небажані. Розвиток людства характеризується зростанням масштабності його діяльності. Сучасна людина володіє могутніми засобами, за допомогою яких перетворює все життя на нашій планеті. Людина вправі пишатися своєю могутністю. Її діяльність має найрізноманітніші масштаби: від перетворення елементарних частинок та вивчення їх будови, перетворення природних організмів на молекулярному рівні до підкорення міжпланетного простору і планет сонячної системи. Разом з тим результати діяльності людини мають і небажані, негативні сторони, які не дозволяють їй бути повністю задоволеною своєю могутністю. Результатами діяльності людини є озонні дірки в атмосфері, через які проникає сонячна радіація і може занапастити все живе на землі, глобальне забруднення суші й води, парниковий ефект, підвищення температури поверхні Землі, танення льодовиків, створення можливості катастроф глобального характеру, які загрожують життю людини і всьому живому на планеті Земля. Не менш складні проблеми виникають у соціально-культурній сфері - це епідемії, етичні, територіальні та релігійні конфлікти. Парадоксально виглядає ситуація, коли людство одержує все нові знання і разом з тим не в силах ефективно ці знання використати. Це свідчить про те, що знання людини не можуть мати вузький, вузько-спеціальний характер, а повинні охоплювати різні сторони навколишнього світу, мати системний характер. Формування системного характеру знань є головним завданням системного аналізу [1 - 5].

Виникнення теорії систем слід віднести до періоду появи військового мистецтва, виробництва, торгівлі. У міру розвитку суспільства виникає необхідність всебічного вирішення практичних завдань, потреба в спеціалістах “широкого профілю”, які мають знання не тільки в своїй галузі, але і в суміжних, які можуть узагальнити проблему, вирішити її з урахуванням різних аспектів. Становлення дисципліни теорії систем слід віднести до кінця ХІХ - початку ХХ ст., коли були встановлені загальні закономірності, що виявляються у великих системах, з'явилися роботи з теорії керування, теорії прийняття рішень. У даний час дисципліна “Теорія систем і системний аналіз” має синтетичний характер, об'єднує широке коло питань від теоретичних аспектів функціонування і керування складними системами до практичних методів аналізу систем, їх моделювання і прийняття рішення в конкретних умовах.

У даний час існують три системних поняття: “теорія систем”, “системний аналіз”, “системний підхід”. “Теорія систем” досліджує загальні властивості, які мають будь-які складні системи незалежно від їх природи (фізичної, біологічної, соціальної і т.п.). Початок теорії систем покладено у працях О.О. Богданова, російського вченого медика і філософа, і Людвіга фон Берталанфі, австрійського біолога-теоретика. Подальший розвиток теорія систем одержала в працях М. Месаровича, І. Такахарі, Р. Директора, Р. Рорера та ін. [8 - 13]. “Системний аналіз” - це в основному прикладна наукова дисципліна, яка розробляє методи вирішення проблем, що виникають у складних системах. Це методологічна дисципліна, основними результатами якої є розробка і класифікація методів аналізу систем та вирішення проблеми. “Системний підхід” – це поняття, яке полягає у тому, що для вирішення будь-якої проблеми треба підходити системно, тобто розглядати в цілому систему, в якій виникла дана проблема з урахуванням цілей та функцій системи, її структури, усіх зовнішніх та внутрішніх зв’язків.

Навчальний курс з предмета “Основні теорії систем і системного аналізу” читається на другому курсі, що зумовило характер подання матеріалу посібника. У зв’язку з бурхливим розвитком обчислювальної техніки і використанням її для вирішення складних завдань системного характеру в посібнику велика увага приділена сучасним методам аналізу систем з використанням електронно-обчислювальної техніки.

Розділ 1. Предмет і методи теорії систем та системного аналізу

1. Системність світу

Навколишній світ і діяльність людини з точки зору сучасної науки мають системний характер.

Системність – це загальна властивість об'єктивно існуючої єдності світу, його структурованості і взаємозв'язку.

Системність як загальна властивість світу виявляється не тільки в системності матеріального світу, але й системності пізнавальної та практичної діяльності. Системність пізнавальної діяльності полягає в тому, що наші знання структуровані, являють собою ієрархічну систему взаємопов'язаних моделей світу. Системність практичної діяльності полягає у використанні взаємозв'язаних процедур для перетворення навколишнього середовища й людини, у врахуванні різних сторін діяльності та всіх можливих її наслідків. Сторонами системності є системність матеріального світу, системність пізнання й системність практичної діяльності.

Єдність світу – поняття, що пояснює світ як одне ціле, яке має одну першооснову і підпорядковане одним законам. Єдність світу у філософії обґрунтовується його матеріальною або духовною основою.

Матеріалістичний напрямок філософії вважає, що єдність світу полягає в його матеріальній основі, а саме – первинним є природа, буття, матерія, а духовне – вторинне, продукт матеріального. Матерія існує поза свідомістю і відображається, відбивається у ній. Наші відчуття, думки, знання - це продукт роботи мозку.

Ідеалістична філософія розглядає першоосною світу дух, ідею, свідомість, а буття, природу, матеріальне як вторинне. Напрямки ідеалізму відрізняються тим, чи вважають ідею об'єктивно існуючою чи ні, визнають існування абсолютної ідеї як першооснови світу, чи зводять ідею до людської свідомості, свідомості окремих суб'єктів. Напрямки філософії в тій чи іншій мірі визнають можливість пізнання світу.

Ми стоїмо на матеріалістичній точці зору і вважаємо, що єдність світу полягає в його матеріальності. Наукові дослідження, вивчення явищ на рівні елементарних частинок матерії і вивчення космічних об'єктів, віддалених від нас величезними відстанями в тисячі й мільйони світлових років, показують, що основою світу є одне начало: матерія, яка може мати найрізноманітніші форми. Нескінченна світо-

будова як у великому, так і в малому, як в матеріальному, так і в духовному підпорядкована одним і тим же законам. Ці закони діють на різних рівнях і зв'язують все у світі в одне ціле. Єдність світу полягає в єдності всіх форм існування матерії і в таких проявах, як, наприклад, простір і час. Як показано в теорії відносності, час взаємозв'язаний з рухом матеріальних тіл. Він може протікати по-різному в тілах, що рухаються одне відносно іншого. Простір також змінює свої властивості залежно від наявності матеріальних тіл, від маси тіла, яке знаходиться в даній точці простору. Біля тіл з великою масою змінюється метрика простору, проходить його викривлення. Біля масивних тіл також змінюється протікання часу. Ці закономірності показують, що світ єдиний у всіх його проявах і всі властивості матерії взаємно зв'язані. Єдиний не тільки матеріальний, а і духовний світ. Духовний світ нерозривно зв'язаний з матеріальним. Єдність матеріального і духовного полягає в тому, що духовне є відображенням певних закономірностей матеріального світу у свідомості людей.

Структурованість світу полягає в його дискретності та впорядкованості. Матеріальний світ складається з величезної кількості різноманітних дискретних частин. Ці частини утворюють певні структури, які розміщуються на різних рівнях. Це такі рівні, як, наприклад, рівень елементарних частинок, атомів, молекул, організмів, популяції, суспільства, планети, планетних систем, галактики, метагалактики. Елементарні частинки світобудови, а їх тепер відомо понад 30 (а враховуючи віртуальні, короткоживучі частинки – понад 100), утворюють атоми, які є основою будови всіх стабільних об'єктів навколишнього світу. Елементарні частинки (фотони, протони, електрони, мезони, баріони та ін.) також мають свою структуру. Є всі підстави стверджувати, що вони складаються з частинок матерії, що мають назву кварків. Існує обмежене число кварків з такими характеристиками як маса, електричний та баріонний заряди, дивність, забарвлення, спіні та ін. Вони, вступаючи у взаємодію, групуючись утворюють всі інші "елементарні" частинки. З дискретними формами матерії нерозривно зв'язані неперервні форми, а саме електричні, магнітні, гравітаційні поля, поля ядерних та слабких взаємодій. Перервні й неперервні форми матерії також зв'язані між собою, оскільки носіями цих полів є певні дискретні частинки, які у взаємодії виявляють квантові й хвильові властивості.

Дискретні утворення матерії, будучи цілісними, незмінними, вступають у взаємодію, не втрачаючи своєї індивідуальності. У хімічних реакціях атоми залишаються незмінними, не руйнуються. У біологічних процесах молекули виступають як ціле. Клітини живих організмів, окремі органи діють як певні цілісні неподільні структурні оди-

ниці. Кожен організм у зовнішньому середовищі також виступає як одне ціле. Тобто ми бачимо, що світ не є хаосом, а являє собою закономірно організовану ієрархію систем. Під структурованістю світу ми розуміємо якраз цю впорядкованість на різних рівнях і закономірні зв'язки між цими впорядкованими структурними рівнями. Причому різні рівні структурованості світу не зводяться до інших. Рівень атомів не зводиться до рівня елементарних частинок. Рівень організмів живого світу не зводиться до рівня окремих органів цих організмів тощо. Кожному рівневі властиві свої закономірності, свої взаємодії, свої характеристики.

Структурованість властива не тільки матеріальним об'єктам, але й в інших сторонах матеріального світу, наприклад формам руху матерії. Ми знаємо такі форми руху, як механічна, теплова, хімічна, біологічна. Ці форми взаємозв'язані, вони знаходяться на різних рівнях структурованості світу, але вони також не зводяться одна до одної.

Взаємозв'язок об'єктів матеріального світу полягає у тому, що всі об'єкти матеріального світу взаємозв'язані між собою. Який би об'єкт ми не розглядали, він має безліч зв'язків з іншими об'єктами. Жоден об'єкт не може бути ізольований від великої кількості інших об'єктів. У сукупності всі об'єкти створюють певну цілісність, яка і є навколишнім світом. Взаємозв'язок існує також між матеріальними об'єктами, духовною сферою. Всі матеріальні об'єкти впливають на духовну сферу. Духовна сфера також нерозривно зв'язана і впливає на матеріальний світ. Взаємозв'язок матеріального і духовного досить складний, вивченням його займається цілий ряд наукових дисциплін. Отже у світі все взаємно пов'язано і взаємно зумовлено. Гарно про це сказав поет Євтушенко:

Сережка ольховая – просто пуховая,
Разломаешь её – и всё будет наверно не так,
Видно жизнь не такая уж вещь бестолковая,
Если в ней ничего не похоже на просто пустяк.

Системність пізнання полягає у тому, що наші знання про світ являють собою взаємопов'язану систему відомостей, уявлень та моделей навколишнього світу. Головними ознаками системності знань є їх структурованість, цілісність, взаємозв'язок.

Людина живе у складному світі і пізнає, вивчає його для того, щоб забезпечити й покращити своє існування. Результати свого пізнання вона відображає у вигляді певних ідей, моделей, уявлень. Ці ідеї та моделі узагальнюються, об'єднуються і стають основою виникнення наукових знань. У сучасному суспільстві знання вже досягли такого рівня, що могутність людини має глобальний, планетний рі-

вень. Людина може розв'язати всі проблеми, які виникають перед нею. Але до знань необхідно підходити системно, враховувати всю їх сукупність у їх взаємозв'язку. Найбільш загальною наукою щодо оточуючого світу, місця людини в ньому є діалектика. Вона служить методологічною основою теорії систем.

Системність пізнання має різні рівні. Початкові знання завжди мають нечіткий, розпливчатий характер. Це знання окремих фактів, явищ, закономірностей не об'єднані між собою. Більш високий рівень системності передбачає об'єднання знань у певній теорії, теоретичне розуміння закономірностей, пояснення фактів з однієї точки зору, на одній основі, відшукання спільного, того, що об'єднує різноманітні факти. Важливе місце у системності знань відіграє математика. Як це не дивно, але математика - єдина мова яку "розуміє" природа, на якій ми можемо ставити їй запитання і одержувати відповіді. Закономірності, одержані за допомогою математики на основі фундаментальних законів природи завжди збуваються. Ейнштейн писав, що найбільш дивне в природі є те, що її можна пізнати. За твердженням Менделєєва, "в кожній дисципліні є стільки науки, скільки в ній математики". Математично виражені закономірності світу пояснюють явища, які без математики є незрозумілими. Записавши рівняння певного процесу, ми про нього знаємо набагато більше, ніж в результаті проведення маси дослідів та вимірювань. Математично виражені закономірності мають найбільш універсальний характер, вони найбільш інформаційні, компактні. Наприклад, усі закони фізики, закони, які описують явища матеріального світу, можуть бути записані на одному аркуші паперу. Таких універсальних законів не більше 20. Це: рівняння механіки з поправками теорії відносності, рівняння неперервності та гідродинаміки, рівняння електромагнітного поля, гравітаційного поля, рівняння квантової механіки, рівняння слабких та сильних взаємодій елементарних частинок матерії тощо.

Системність як загальна характеристика матерії існує у самій природі і проявляється у системності пізнання та системності мислення. Для початкових знань характерна стихійна, неусвідомлена системність. Людина, навіть на перших етапах розвитку суспільства, сприймала світ як одне ціле і відшукувала в ньому найбільш загальні закономірності. Здобуваючи нові знання, людство переходило на більш високий рівень системності, оснований на знанні законів розвитку природи й суспільства. Навчання - також процес підвищення системності знань. Вивчаючи кожну наукову дисципліну, ми не тільки збільшуємо кількість наших знань, але і пізнаємо зв'язки, які існують між окремими явищами. Знання наші об'єднуються в одну систему, що

дозволяє нам діяти більш системно, вирішувати все складніші й складніші проблеми.

Мислення людини полягає не тільки у знанні, а також у відображенні в свідомості окремих закономірностей навколишнього світу, в об'єднанні всіх проявів навколишнього світу в одне ціле. Мислення дозволяє розуміти процеси, що відбуваються навколо нас. Для пізнання та мислення характерні процеси аналізу й синтезу. Аналіз - це процес розчленування цілого на частини (дійсне чи уявне) й вивчення окремих частин, синтез - це об'єднання частин в одне ціле, розуміння того, як працює ціле. Мислення має синтетичний характер, воно направлене на об'єднання окремих явищ, фактів.

Системність практичної діяльності полягає у тому, що ця діяльність, як і сам світ та його пізнання, завжди має системний характер. Ознаками системності діяльності, крім розглянутих вище загальних ознак, є підпорядкованість діяльності певній цілі (цілеспрямованість) та алгоритмічність.

Всяка діяльність завжди має ціль. Ціль діяльності - це майбутній бажаний ідеальний результат діяльності. Людина виконує певну роботу, завжди розуміючи, для чого вона це робить і що хоче одержати в результаті. Діяльність може мати одну ціль або їх сукупність. Певним цілям підпорядковані всі ступені діяльності, окремі її кроки. Цілі можуть створювати ієрархію, в якій існують проміжні цілі й цілі більш високого рівня.

Алгоритмічність діяльності полягає у тому, що всяка діяльність складається з окремих кроків, які виконуються у певній послідовності, відповідають певним правилам. Поняття алгоритм уперше введене в математиці. Воно означає чітку послідовність наперед заданих кроків, виконаних за певними правилами. В обчислювальній техніці алгоритми виконуються автоматично. Діяльність людини також має алгоритмічний характер, вона складається з певних елементарних дій, які завжди виконуються в одному, наперед встановленому порядку. Ми не завжди усвідомлюємо алгоритмічність діяльності. Але яку б роботу ми не взяли, вона завжди здійснюється у певному порядку, підпорядкована певним правилам. Наприклад, ми ходимо, граємо з м'ячем, стрибаємо, розмовляємо тощо, при цьому ми виконуємо певну послідовність дій, які виконуємо автоматично, практично без контролю нашою свідомістю. Послідовність цих кроків і є алгоритмами. Алгоритмічність властива всякій діяльності. Творча діяльність людини також має певні алгоритми. Ці алгоритми можна вивчити, зрозуміти, змоделювати, наприклад, вже створені програми гри в шахи для комп'ютера. У цих програмах є певні алгоритми оцінки ситуацій, вибору рішення. Сучас-

ні комп'ютерні програми досить досконалі і виграють у шахи навіть у чемпіона світу. Звичайно алгоритми вирішення задач комп'ютером і людиною різні, але практика створення вказаних програм показує, що такий складний процес мислення, як гра в шахи, може бути алгоритмізований. Алгоритмізації піддаються також інші процеси творчої діяльності людини. Наприклад, багато етапів створення музики вже введено в комп'ютерні програми. Розроблені й опубліковані в літературі алгоритми раціоналізаторської та винахідницької роботи і багато інших. Написання курсової роботи студентами, розробка проектів будівель архітектором та інша діяльність здійснюється за певними правилами, в певному порядку, тобто за певними алгоритмами.

Системність мислення і практичної діяльності людини проявляється у всьому нашому житті. З розвитком науки системність діяльності підвищується. Приклади, наведені вище, показують важливість системного мислення та системності діяльності. У міру розвитку окремої людини та суспільства системність діяльності підвищується. Це можна проілюструвати і при вирішенні транспортних задач. Розглянемо для прикладу задачу керування рухом транспорту. На початку розвитку транспортних засобів окремі екіпажі рухались незалежно і проїжджали по дорогах, перехрестях доріг, як їм було зручніше. Пізніше для керування рухом були введені певні правила. Спочатку з'явилися світлофори. Наступним кроком було об'єднання світлофорів, розміщених на одній вулиці, та організація їх спільної роботи в режимі "зеленої хвили". Подальшим кроком підвищення системності керування рухом стала автоматизація керування транспортними потоками по всьому місту.

Ще один приклад підвищення системності можна проілюструвати, розглядаючи розробку проектів транспортних коридорів в Україні. Це транспортні коридори Європа – Азія, Південь - Північ , Середня Азія - Європа. Старі технології проектування, коли послідовно вирішується завдання розміщення траси транспортної магістралі на території, розробляються проекти мостів, дамб, інших інженерних споруд вимагають декількох років роботи (від 3 до 10). Проектування на основі сучасних геоінформаційних технологій дозволяє в проекті врахувати не тільки саму трасу магістралі, а різноманітні екологічні, геологічні, соціальні фактори, деталі інфраструктури: розміщення кафе, кемпінгів, заправок, ремонтних майстерень уздовж траси магістралі та ін. При цьому в проект закладається технологія будівництва з урахуванням підприємств, які виготовляють будматеріали, з вивіреном до хвилин графіком підвезення матеріалів до місця майбутнього будівництва, контролем якості матеріалів і їх відповідності міжнародним стандартам. Розробка проекту здійснюється протягом 4 – 6 місяців. Отже під-

вищення системності діяльності в даному прикладі розробки проекту дозволяє не тільки підвищити якість його виконання, а й зменшити витрати часу.

Взаємозв'язок сторін системності показано на рис. 1.

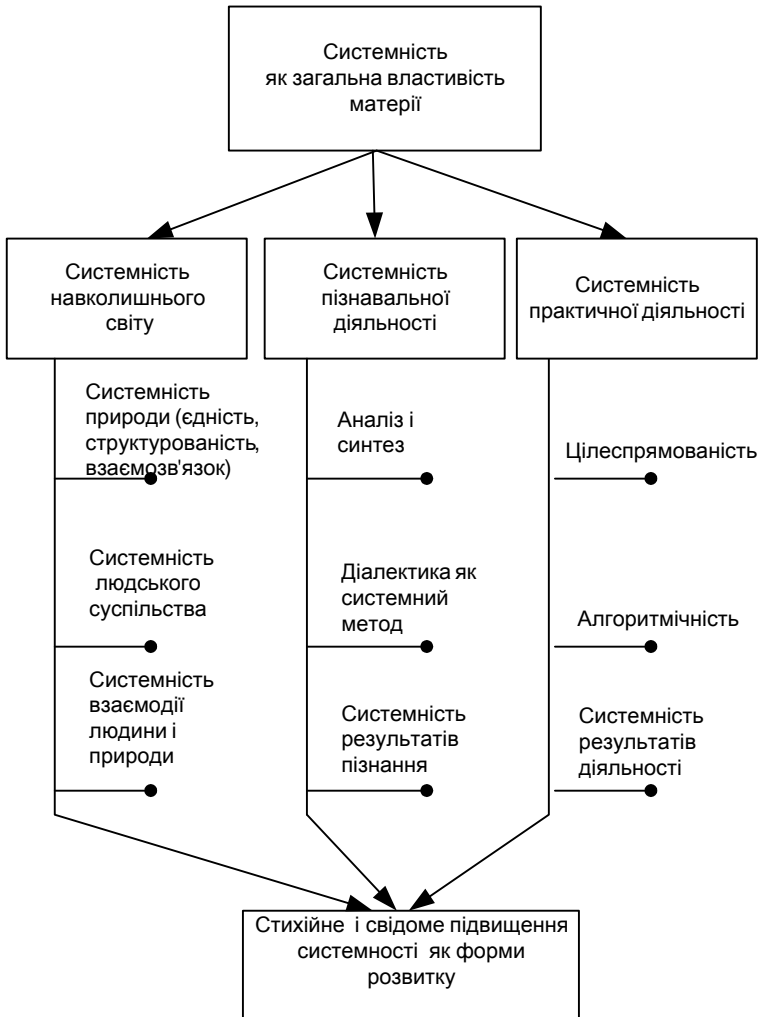


Рис. 1 - Сторони системності та їх взаємозв'язок

2. Зміст предмета “Основи теорії систем і системного аналізу”

Вивчаючи будь-яку наукову дисципліну, в першу чергу необхідно виділити та чітко визначити об’єкт та предмет вивчення.

Об’єкт наукової дисципліни – це те, на що направлене вивчення, вибрана для вивчення частина зовнішньої реальності. Об’єктом теорії систем та системного аналізу є матеріальні та ідеальні системи навколишнього світу.

Предмет науки (предметна область) – це ті сторони, зв’язки, відношення об’єкта, які вивчаються даною наукою. Системний аналіз - науковий напрямок, пов’язаний з розробкою методів вирішення проблем природного характеру. Предметом теорії систем та системного аналізу є вивчення великих систем навколишнього світу на основі системного підходу, вивчення внутрішніх і зовнішніх, найбільш загальних характеристик систем, розробка методів аналізу систем та методів вирішення проблем, що виникають у цих системах під час практичної діяльності людини. Системний аналіз є методологічною науковою дисципліною. Методологічна дисципліна означає, що основним напрямком її є розробка методів аналізу складних систем.

Розглянемо головні поняття дисципліни.

Теорія систем - це область наукового знання про навколишній світ як сукупність систем різної складності й різного рівня, які взаємодіють між собою. Теорія систем є загальнотеоретичним підходом, заснованим на методах діалектики, використанні знань філософії, прикладної математики, теорій пізнання та інших наукових дисциплін. Вона вивчає закономірності функціонування, взаємодії і розвитку великих систем.

Системний аналіз – це методологічна дисципліна, заснована на системному підході. Вона об’єднує методи вивчення систем різної складності й призначення, розробляє ці методи, узагальнює їх, дає практичні рекомендації для їх використання. Системний аналіз застосовується для підготовки й обґрунтування шляхів вирішення складних проблем політичного, соціального, військового, економічного, технічного характеру. Системний аналіз – це прикладна діалектика.

Головна процедура системного аналізу – побудова узагальнених моделей, в яких відображені закономірності реальної ситуації. Моделі системного аналізу відображають структуру, взаємозв’язки у складних системах, реальну ситуацію та проблеми, які в них виникають. За допомогою створених моделей досліджують системи й знаходять шляхи вирішення складних проблем практичної діяльності людини.

Технічна основа системного аналізу – інформаційні системи, обчислювальна техніка і сучасні методи керування.

Системний аналіз вивчає такі питання:

- утворення цілого;
- побудова цілого;
- зростання і розвиток цілого;
- відношення між цілісною системою та іншими системами;
- відношення між системою та метасистемою, великою зовнішньою системою, до складу якої вона входить.

3. Цілі системного аналізу

Цілями системного аналізу є вивчення загальних закономірностей складних систем різної природи й характеру. Практична направленість системного аналізу полягає у вирішенні непростих проблем, що виникають у результаті діяльності людини.

Спеціалісти із системного аналізу вивчають процеси у складних системах, аналізують результати, до яких приводять ці процеси, оцінюють перспективи розвитку систем. Їх завданням є прогнозування можливих сценаріїв розвитку, запобігання небажаним явищам та катастрофам, які можуть виникнути в результаті діяльності людини, а також внаслідок природних процесів розвитку систем та їх взаємодії між собою. Системний аналіз є основою прийняття рішення у складних ситуаціях, коли ефективність цих рішень неоднозначна і оцінити її важко. Отже системний аналіз розробляє наукові методи вирішення складних проблем у системах навколишнього світу. Він виступає як каркас, що об'єднує методи і знання для вирішення проблем. Головними методами системного аналізу є побудова моделей систем різного рівня і складності та аналіз систем за допомогою побудованих моделей [1 - 4].

Завданнями системного аналізу займається Міжнародний інститут прикладного системного аналізу (International Institute for Applied Systems Analysis –IIASA), створений в 1972 р. Ціллю досліджень, які виконуються в цьому інституті, є розробка методів прогнозування і оцінки соціальних та інших аспектів науково-технічного прогресу. В ньому вивчають проблеми методології системного аналізу, проблеми економіки, екології, сільського господарства, енергетики, глобального моделювання, інформатики, дослідження міст, водних та лісових ресурсів, транспорту, регіонального розвитку та ін. Методи системного аналізу широко використовують у керуванні й зв'язку [5, 6], організа-

ції виробництва [7], керуванні матеріальними потоками, резервами [8] та в інших напрямках діяльності.

Проблеми системного аналізу прийнято поділяти на глобальні й універсальні. Глобальні проблеми мають загальнопланетний, загальнолюдський характер. Універсальні проблеми - це проблеми локальних систем чи мікросистем, таких як проблеми розвитку міст, великих підприємств, окремих галузей промисловості тощо. Зростання населення у світі, збільшення кількості великих міст і їх розмірів, прискорення темпів розвитку науки й техніки ведуть не тільки до розширення дії людини на середовище, в якому вона проживає, але і до змін у характері втручання людини в природні процеси. Дія людини на природу сьогодні досягнула рівня, який за масштабами може бути порівняний з дією найбільш могутніх сил самої природи. Існує загроза в незворотних змінах у земній атмосфері, порушень в головному механізмі підтримання та забезпечення життя на планеті, повного вичерпання мінеральних ресурсів, невідновних втрат природних умов життя майбутніх поколінь.

Системний аналіз засновується на системному підході, а також на ряді математичних дисциплін та сучасних методах керування.

Системний підхід – це напрямок дослідження, вивчення світу, в основі якого лежить розгляд об'єктів як системи, орієнтація на розкриття цілісності об'єкта, виявлення різноманітності зв'язків у ньому і приведення їх до єдиної теоретичної картини.

Основними принципами системного підходу є:

1. Принцип взаємозв'язку - система вивчається як частина певної макросистеми. Вона зв'язана безліччю зв'язків з іншими системами, взаємодіє та існує в єдності з ними .

2. Принцип багатоплановості – система як деяка самостійна одиниця вивчається з різних сторін зі своїми особливостями.

3. Принцип багатомірності, який полягає в тому, що вивчаються різні характеристики систем, які об'єднують в групи (кластери): об'єкт описується як сукупність деяких характеристик та взаємозв'язків між ними.

4. Принцип ієрархічності – система розглядається як складна структура з різними рівнями, між якими встановлюються певні зв'язки.

5. Принцип різнопорядковості - полягає у тому, що різні ієрархічні рівні системи породжують закономірності різного порядку. Одні закономірності властиві тільки всім елементам або деякій групі елементів, а інші тільки окремим елементам.

6. Принцип динамічності – система розглядається в рухові й розвитку.

Відповідно до системного підходу всякий об'єкт виникає та існує в рамках деякої великої системи. Зв'язки між об'єктами і системою є суттєвими основами виникнення, існування та розвитку об'єкта і системи в цілому.

Практичне значення системного аналізу полягає в тому, що він є методологією і практикою цілеспрямованого перетворення як самої людини, так і навколишнього світу.

Контрольні запитання

1. У чому полягає системність навколишнього світу?
2. Які ознаки системності властиві діяльності людини?
3. Чому виникає необхідність системного вирішення завдань практичної діяльності людини?
4. Як Ви розумієте підвищення системності мислення і системності людської діяльності ?
5. Яке коло питань вивчає дисципліна “Теорія систем”?
6. У чому полягають особливості дисципліни “Системний аналіз”?
7. Яка головна процедура системного аналізу?
8. Що розуміють під терміном “системний підхід”?
9. Які основні принципами системного підходу?
10. Як Ви розумієте поняття єдності світу?
11. Які є рівні системності пізнання ?
12. Чим відрізняється матеріалістичне та ідеалістичне пояснення поняття єдності світу?
13. У чому полягає структурованість світу? Наведіть приклади структурованості.
14. Як Ви розумієте поняття ієрархії структур?
15. Поясніть, у чому полягає алгоритмічність діяльності? Наведіть приклади.
16. Яке практичне значення має системний аналіз?
17. Які проблеми в системному аналізі відносять до глобальних, а які до універсальних?
18. Які особливості мислення дозволяють стверджувати, що воно системне?

Розділ 2. Система та її властивості

1. Поняття системи

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

Існує понад 30 визначень системи. В енциклопедії система визначається прямим перекладом з грецької мови як об’єднання частин. Найбільш відомі визначення системи такі:

Система – це множина елементів, що знаходяться в певних співвідношеннях 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. 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.

2. Властивості систем

Поняття “система” найкраще конкретизується у процесі розгляду її властивостей. В.Н Спіццандель у своєму підручнику [3] виділяє чотири основні властивості системи, а саме:

- система перш за все є сукупністю елементів. При певних умовах елементи можуть розглядатись як системи;

- між елементами існують суттєві зв'язки чи властивості, які за силою зв'язку перевищують зв'язки між елементами системи та елементами, які не входять у систему. Під суттєвими зв'язками розуміють такі, які закономірно з необхідністю визначають інтегровані властивості системи. Ці суттєві зв'язки визначають систему, відділяючи її від простої сукупності (конгломерату) і виділяють її з навколишнього середовища у вигляді цілого об'єкта;

- системі властива певна організація, що виявляється у зменшенні ентропії системи в порівнянні з ентропією сукупності елементів, які складають систему. Поняття ентропії більш детально розглядається далі. Воно визначає ступінь неорганізованості, безладу, хаосу. Організація системи приводить до зменшення безладу, зменшення кількості можливих станів системи;

- існування інтеграційних властивостей, тобто властивостей, які властиві системі в цілому і не властиві жодному елементу системи. Тобто властивості системи не зводяться тільки до властивостей її елементів.

Розглянемо більш детально ці властивості системи і виділимо основні ознаки. Такими ознаками системи є.

- 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, ціленаправленість.

Наведемо в загальних рисах короткі характеристики вказаних ознак системи.

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

Під якісною визначеністю розуміють, 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 даній системі. Вони визначають відношення до інших систем. Наприклад, система "автомобіль" має якісні ознаки, які характеризують його в цілому. Такими ознаками є: маса, потужність, швидкість, габаритні розміри, комфортність, естетичність та багато інших. Якісні

ознаки іншої системи, наприклад, тролейбуса, можуть бути зовсім іншими: споживання електроенергії, маневреність, місткість тощо. Тобто система є цілісністю, що має властиві тільки їй якісні ознаки, за якими вона відрізняється від інших систем. Якість здебільшого може бути виражена кількісними величинами, наприклад, місткість тролейбуса 105 пасажирів. Але наявність кількісного визначення не обов'язкова, наприклад, якісна ознака естетичності не може бути виражена кількісно.

Відмежованість системи від середовища означає, що всяка система має свої границі. Границі відділяють систему від навколишнього середовища. Вони визначають, що входить в систему і що в неї не входить, є зовнішнім по відношенню до системи. Переважна більшість систем має чіткі границі. Проте границі системи не завжди можуть визначитися однозначно. Деколи визначити границі дуже складно. Наприклад, визначення границь системи “річка”: входять у систему її береги, чи “річка” закінчується там, де протікає вода? Якщо берег входить в систему, то на якій відстані від води проходить границя системи “річка”? На відстані 1 м, 10 м чи 100 м? А пойма річки входить в систему чи ні? Де її границя? Отже, навіть таке просте поняття, як визначення границь системи має особливості і їх необхідно враховувати при визначенні та дослідженні систем. Це стосується й інших характеристик системи.

Гетерогенність системи і структурованість. 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. Поняття структурованості світу ми вже розглядали. 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 поняття більш вузьке, воно просто означає неоднорідність складу, наявність складових частин. Наприклад, система “тролейбус” має такі частини, як двигун, ходова частина, кузов, електрообладнання тощо. Двигун, ходова частина складаються з окремих вузлів, а кожен вузол з окремих деталей. Така будова системи “тролейбус” відповідає поняттю структурованості.

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

буде системою тоді, коли складові його частини: двигун, ходова частина, електрообладнання певним чином взаємодіють між собою. Причому ця взаємодія однозначна, визначена, обумовлена в найдрібніших деталях.

Взаємодія з навколишнім середовищем означає, що система як ціле взаємодіє з іншими системами. Це зумовлене цілісністю системи, її 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.

Під поняттям інтегрованості розуміють, 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. emergent – несподіване виникнення) визначає, 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. Щоправда, величина емерджентності не має числового вираження і харак-

теристика може бути тільки якісною. Наприклад, властивості автомобіля не зводяться до властивостей двигуна, кузова, ходової частини. У нього з'являється ряд нових якісних ознак, відмінних від ознак складових частин. Ще один приклад. 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 брати живі організми, то ступінь їх організованості значно вищий, оскільки неможливо звести характеристики до характеристик окремих частин організму.

Наявність цілей, ціленаправленість – одна з головних ознак системи. Кожна система має певну ціль існування або створена для певної цілі. У системи може бути одна ціль 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. Визначити цілі таких систем, як правило, неважко. Наприклад, телевізор створений для прийому та відображення інформації. Автомобіль створений для перевезення людей і вантажів. Автобус, трамвай, тролейбус, метрополітен, таксі служать одній цілі – перевезенню людей, але вони мають свої особливості, служать для дещо інших цілей, відмінних для кожного з вказаних видів транспорту. 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.

Наведені характеристики систем більш детально й глибоко вивчаються в подальшому.

3. Система і проблема

Системний аналіз являє собою методологію вирішення проблеми, тобто сукупність методів та алгоритмів вирішення проблеми, заснованих на концепції системи й системному підході.

Дане визначення досить категоричне. Якби існувала така сукупність методів та алгоритмів, то, напевно, і не було б проблем. Той, хто володів би всіма такими методами вирішення будь-якої проблеми, міг би претендувати на роль людини, яка може все і вирішує будь-які проблеми. На жаль, це далеко не так, все набагато складніше.

Розглядаємо поняття проблеми.

Проблема – це складне теоретичне або практичне завдання, що вимагає свого вирішення, але наявних в даній системі засобів вирішення недостатньо. У науці - це ситуація, яка виступає у вигляді протилежних позицій, пояснень, будь-яких явищ, об'єктів, процесів, адекватної теорії вирішення якої немає.

Проблема виникає не одразу. Спочатку вона виступає як неусвідомлене незадоволення станом речей, а в науці це незадовільне пояснення явищ, одержання неоднозначних, незрозумілих результатів. Пізніше це незадоволення усвідомлюється. Стає зрозумілим, що саме нас не влаштовує. Далі визначається, чому дана ситуація нас не влаштовує. Сформована проблема виникає тоді, коли повністю усвідомлена ситуація, але відсутні засоби для її вирішення.

Важливим етапом вирішення проблеми є формулювання цілей діяльності. Цілі діяльності дозволяють зрозуміти, що треба зробити для вирішення проблеми. Якщо ми вірно сформулювали цілі, то це вже значний крок у вирішенні проблеми. Але якраз цілі діяльності не завжди можна чітко сформулювати. Одні цілі можуть приводити до вирішення проблеми, інші - до її загострення. Оскільки немає прямого шляху вирішення проблем, а деколи виникають труднощі в її формулюванні, то потрібно детальніше вивчити дане питання.

Перш за все проблема завжди виникає у певній системі. Будемо говорити, що система С1 містить проблему П1. Взагалі всяка система може містити багато проблем, тому часто говорять про проблематику системи. Нам необхідно вирішити одну з проблем системи, а саме П1. Діалектика вирішення проблеми така, що вирішивши одну проблему, ми змінюємо систему. Нова система С2 вже містить нову проблему. Подекуди ця проблема для нас є не суттєвою і ми можемо вважати, що система С2 вирішує проблему П1 для системи С1. Подальші кроки направлені на вирішення проблеми С2. У результаті ми переходимо до

нової системи. На рис.2 показано декілька послідовних кроків діалектики розв'язання проблеми.

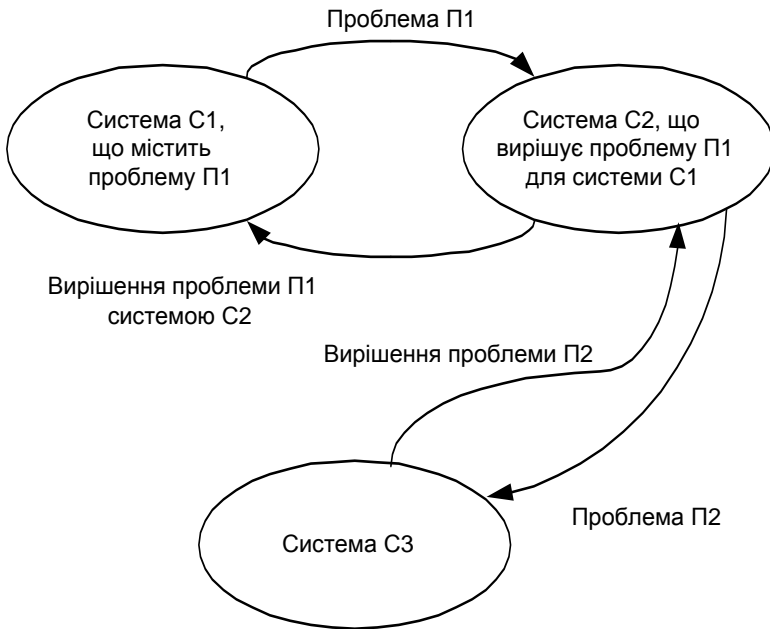


Рис. 2 - Співвідношення між проблемою і системою

Отже, поняття проблеми нерозривно пов'язане з поняттям системи. Практичне розв'язання проблеми суттєво залежить від системи, в рамках якої проблема розв'язується. Інколи розширення системи приводить до розв'язання проблеми чи значного зниження труднощів розв'язання. Як приклад можна навести відоме завдання: з'єднати дев'ять точок за допомогою чотирьох ліній, не відриваючи ручки від паперу, а саме



Рис. 3 – Завдання: З'єднати точки чотирма прямими лініями, не відриваючи ручки від паперу

Якщо для вирішення завдання розглядати як систему тільки наведені точки і обмежитися областю аркуша паперу, де вони розміщені, то задачу розв'язати неможливо. Але як тільки ми розширимо область паперу, в якій можна проводити лінії, то рішення знаходиться досить просто.

Ще один приклад з будівництва. Якщо поставити завдання звести будинок так, щоб у всіх кімнатах була добра природна вентиляція, то вирішити цю проблему важко. Але якщо розширити систему і спроектувати мікрорайон з будинками, то при певному розміщенні будинків проблема вентиляції кімнат вирішується доволі просто за рахунок потоків повітря, які дують уздовж вулиць, з чим ми часто зустрічаємось, коли наші мікрорайони продуваються наскрізь.

Наведені вище міркування дозволяють навести одне з багатьох визначень системи, а саме: система – це сукупність засобів вирішення проблеми.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте визначення системи.
2. Які системи відносять до матеріальних?
3. Наведіть приклади ідеальних систем.
4. Які основні ознаки системи?
5. Що розуміють під поняттям “цілісність системи”?
6. Що розуміють під поняттям “якісна визначеність системи”?
7. Як поділяють системи за їх походженням?
8. У чому полягає проблема визначення границь системи?
9. Як співвідносяться інтенсивності взаємодії частин системи та системи і середовища?
10. Що розуміють під поняттям “гетерогенність системи”?
11. Що розуміють під поняттям “структура системи”?
12. Що означає поняття “ентропія”?
13. Поясніть зміст поняття “емерджентність”.
14. Яка роль визначення цілей системи для вирішення проблеми?
15. Які цілі відносять до об'єктивних, а які до суб'єктивних?
16. Яким системам властиві суб'єктивні цілі?
17. Що таке проблемна ситуація?
18. Які послідовні кроки вирішення проблеми?
19. Яка послідовність виникнення проблемної ситуації?
20. Як зв'язані “проблема” і “система”?

Розділ 3. Класифікація систем

1. Принципи класифікації систем

Питання класифікації у всякій науковій дисципліні за своїм значенням завжди стоїть на одному з перших місць, оскільки воно визначає характеристики об'єкта наукової дисципліни, порядок її вивчення, взаємозв'язок окремих розділів та зв'язок з іншими науковими дисциплінами. Особливостями побудови навчального курсу є те, що на відміну від монографії чи наукового викладу предмета, у навчальному посібнику виникає потреба декілька разів повертатись до одних і тих же питань, в міру ознайомлення читачів з новими для них визначеннями та положеннями. Класифікація систем не може бути повністю викладена в перших розділах навчального посібника, оскільки студенти ще не знайомі з багатьма поняттями й положеннями наукової дисципліни, які обумовлюють класифікацію. Тому в даному розділі розглянуті найбільш загальні принципи класифікації з можливим їх поясненням, а після подання подальшого матеріалу вони будуть уточнюватись, доповнюватись. Під час вивчення навчального матеріалу слід повертатись до розділу класифікації систем, в міру одержання нових знань.

Слід зауважити, що класифікацію часто розуміють як операцію розподілу за різними групами, насправді ж якраз навпаки, класифікація є операцією об'єднання, а саме множина об'єктів, що підлягають класифікації, об'єднується у певні групи за характерними ознаками. Класифікація проводиться тільки тоді, коли є множина об'єктів і необхідно серед них встановити певний порядок, об'єднати їх у певні групи за певними ознаками.

Класифікацію систем виконують, як правило, за ієрархічним принципом. Ієрархічний принцип класифікації означає, що існує декілька рівнів класифікації і вони розміщені один вище другого. Наприклад, поділ систем на природні, штучні й змішані є загальний і оскільки він не завжди задовольняє потреби аналізу, то вводять наступний більш низький рівень класифікації. Тому на другому рівні деталізують системи кожної групи. Як правило, верхні рівні класифікації повинні бути замкненими і охоплювати усі існуючі системи. Нижній рівень може бути і незакінченим. Це зумовлюється цілями класифікації і її постійним розвитком. При розвитку поглиблюються знання про предмет класифікації, проходить диференціація класів і підкласів.

Слід зауважити, що всяка класифікація завжди має абсолютну й відносну сторони. Абсолютна сторона означає, що система, віднесена до певного класу систем, має ті ж характеристики, що й інші системи

даного класу, і підпорядковується тим же закономірностям. Відносність класифікації полягає в тому, що крім чітко визначеного поділу існують системи, які займають проміжне місце. Відносність означає також те, що система може бути віднесена до однієї чи іншої групи залежно від того, з якої точки зору ми розглядаємо систему, які властивості системи нас цікавлять при аналізі, які проблеми ми вирішуємо за допомогою даної системи. Утім всяка класифікація завжди є відносною, служить певним цілям, в кожний з класів систем входить безліч різноманітних систем, які відрізняються великою сукупністю характеристик.

Класифікацію виконують за класифікаційними ознаками. Класифікаційними ознаками є ті ознаки, які, на думку того, хто виконує класифікацію, є визначальними для даного класу об'єктів. Поняття "система" охоплює всі об'єкти навколишнього світу. Тому існує велика різноманітність класифікацій систем за різними ознаками. Кожна класифікація виконується спеціалістами, які займаються певним колом проблем, і відображає підхід до проблеми класифікації з точки зору саме цих спеціалістів. Тому єдиної класифікації систем в даний час немає і навряд чи вона можлива. Певні узагальнення дозволяють вибрати найбільш вживану класифікацію, яку взято за основу в даному курсі. Одна з таких класифікацій наведена в [1].

Розглянемо запропоновану класифікацію систем. Принципи класифікації та класи систем подані у табл. 1.

Таблиця 1 - Класи та підкласи систем

№ п/п	Основа класифікації систем	Класи й підкласи систем
1	2	3
1	За матеріалом, з якого створені	1.1. Матеріальні 1.2. Ідеальні (абстрактні)
2	За походженням	2.1. Штучні 2.2. Природні 2.3. Змішані
3	За характером зв'язку з навколишнім середовищем	3.1. Відкриті 3.2. Закриті
4	За складністю	4.1. Неживі 4.1.1. Статичні структури чи їх основи (кристал) 4.1.2. Прості динамічні із заданим законом поведінки (годинник) 4.1.3. Кібернетичні системи з циклами керування, що мають зворотний зв'язок (термостат, робот)

Продовження таблиці 1

1	2	3
		4.2. Живі 4.2.1. Відкриті системи з самозберігаючою структурою (клітка) 4.2.2. Живі організми з низькою здатністю сприймати інформацію (рослини) 4.2.3. Живі організми з більш розвинутою системою сприйняття інформації (тварини) 4.2.4. Живі організми із самосвідомістю (людина) 4.2.5. Соціальні системи (етнос, нація) 4.2.6. Трансцендентні системи чи системи, що знаходяться поза нашою свідомістю
5	За принципами поведінки	5.1. Матеріальні 5.2. Гомеостатичні 5.3. Вирішуючі (без передбачення) 5.4. Здатні передбачувати 5.5. Рефлексивні
6	За ступенем організованості	6.1. Добре організовані 6.2. Погано організовані 6.3. Самоорганізуючі 6.3.1. Саморегулюючі 6.3.2. Самонавчаючі 6.3.3. Самонастроюючі 6.3.4. Самовідновлювальні 6.3.5. Самовідтворюючі
7	За ступенем ресурсної забезпеченості	7.1. Малі 7.2. Великі 7.3. Прості 7.4. Складні 7.5. Звичайні 7.6. Енергокритичні
8	За характером цілей	8.1. Призначені для певної цілі 8.2. Здатні обирати ціль і до неї прагнути
9	За описом змінних	9.1. Якісний опис 9.2. Кількісний опис 9.3. Змішаний опис
10	За способом керування	10.1. Керування зовні 10.2. Самокерування 10.3. З комбінованим керуванням
9	За типом операторів системи S	11.1. Чорний ящик (S невідомо) 11.2. Непараметризований клас (S відомо частково) 11.3. Параметризований клас (S відомо до параметра) 11.4. Білий ящик (S відомо повністю)

2. Класи і підкласи систем

Приставаючи до розгляду класифікації систем, перш за все зазначимо, що існує поділ систем на матеріальні й ідеальні (абстрактні) системи. Матеріальні системи - це системи матеріального світу. Під матерією слід розуміти речовину, поля різного типу, енергію та інформацію. До ідеальних систем, як це вже було сказано, відносяться системи, створені нашою свідомістю і існуючі завдяки їй. До таких систем відносяться розмовна й літературна мова, математика, літературні твори, наукові теорії. Вони підлягають усім характерним ознакам систем і являються системами. Розглядаючи класифікацію систем ми будемо говорити здебільшого про класифікацію матеріальних систем.

Класифікація систем за походженням

За походженням системи поділяють на

- штучні,
- природні,
- змішані.

Штучні - це системи, створені людьми, природні - системи створені самою природою, існують у природі незалежно від свідомості людини, від її діяльності. Змішані системи створені людиною, але в них важливу роль відіграє природна частина. Штучні системи, створені людиною і мають певну об'єктивну ціль свого існування, для якої вони створені.

При розгляді природних систем виникають певні ускладнення. Для природних систем важко сформулювати ціль існування. Питання цілей у класифікації систем за походженням вимагає детального розгляду.

У визначення системи, яке ми розглядали раніше, не входить поняття цілі, але серед ознак системи важливою ознакою є ціленаправленість, тобто наявність цілей чи їх сукупності. Оскільки штучні системи створені людиною, то вони мають конкретну ціль, для якої їх створили. Визначити цю ціль неважко. Але коли ми розглядаємо природні утворення, то на запитання про ціль відповіді дуже важко. Природних утворень ми бачимо безліч – це атом, кристал, молекула, рослина, живі організми, сонячна система та ін. Якщо утворення не має однієї з ознак системи, то виникає логічне запитання, чи можна його вважати системою? У повсякденній практиці наведені вище природні утворення прийнято вважати системами - система атома, сонячна система, організм як система. Як погодити повсякденну практику з суто науковим підходом? Можливо, якби ми розглядали світ з точки зору “творця світу”, ми могли б визначити цілі, для яких створені вка-

зані вище природні утворення. Але наука відрізняється від релігії тим, що всі пояснення природних явищ, існування природних об'єктів здійснюються на основі об'єктивно існуючих закономірностей, які не потребують наявності надприродних сил. І в нашому випадку необхідно знайти вихід з логічного тупика, який виник без розгляду точки зору "творця світу". Таким виходом є введення поняття об'єктивних й суб'єктивних цілей. Суб'єктивна ціль - це ціль, сформована певним суб'єктом, який створив систему. Суб'єктивні цілі визначаються для штучних систем. Для природних систем імовірно вважається наявність об'єктивних цілей. Наявність об'єктивних цілей можна пояснити таким чином, що коли ми приходимо у світ, де цілі, для яких система створена, вже реалізовані, то існування системи ми повинні визнати об'єктивним, а цілі, для яких ці системи створювались і існують, – об'єктивними цілями. У такому випадку ми можемо вважати об'єктивними цілями майбутній або теперішній реальний стан системи, якого вона досягає у своєму життєвому циклі. Введення об'єктивних цілей дозволяє визначити цілі природних утворень і, відповідно до наших ознак, вважати їх системами. Інтерпретація стану, якого досягає система у своєму життєвому циклі, як об'єктивної цілі її існування, має довгу історію, що починається з Аристотеля і Галілея. Галілей більш чітко, ніж Аристотель, ставив питання цілей природних систем і вважав ними прагнення систем досягнути певного екстремуму, наприклад, мінімуму внутрішньої енергії. Такий принцип з точки зору сучасної науки відповідає найбільш стійкому стану системи, оскільки в точках екстремуму всі можливі відхилення приводять до самої меншої зміни системи. Цей підхід розвивався у працях бельгійського вченого І. Пригожина, який у 1977 р. одержав Нобелівську премію за роботи з термодинаміки нерівноважених систем, розглядаючи так звані точки біфуркації складних природних систем у процесах їх взаємодії з навколишнім середовищем. Отже основна різниця штучної і природної системи полягає в цілях існування [1,3].

Змішані системи - це системи природного походження, які перетворені людиною для задоволення певних потреб, або системи, створені людиною, в яких у значній мірі використовуються елементи природних систем, наприклад, заповідник, ліспромгосп, канал, парк культури, штучний супутник землі тощо. Для змішаних систем існують об'єктивна й суб'єктивна цілі. На верхньому рівні, як правило, – це суб'єктивні цілі, на нижньому – об'єктивні.

Оскільки поділ систем на природні, штучні й змішані є досить загальним, то необхідно ввести наступний рівень класифікації. Класифікація систем за походженням на другому рівні наведена на рис. 4.

Так, природні системи класифікують як неживі системи, живі організми, соціальні системи, екологічні системи тощо. Екологічні системи ввели в класифікацію, враховуючи їх великий вплив на життя та діяльність людини і тому, що системний аналіз в наш час багато уваги приділяє вивченню екологічних систем. Класифікацію систем за походженням на другому рівні показано на тому ж рис. 4.

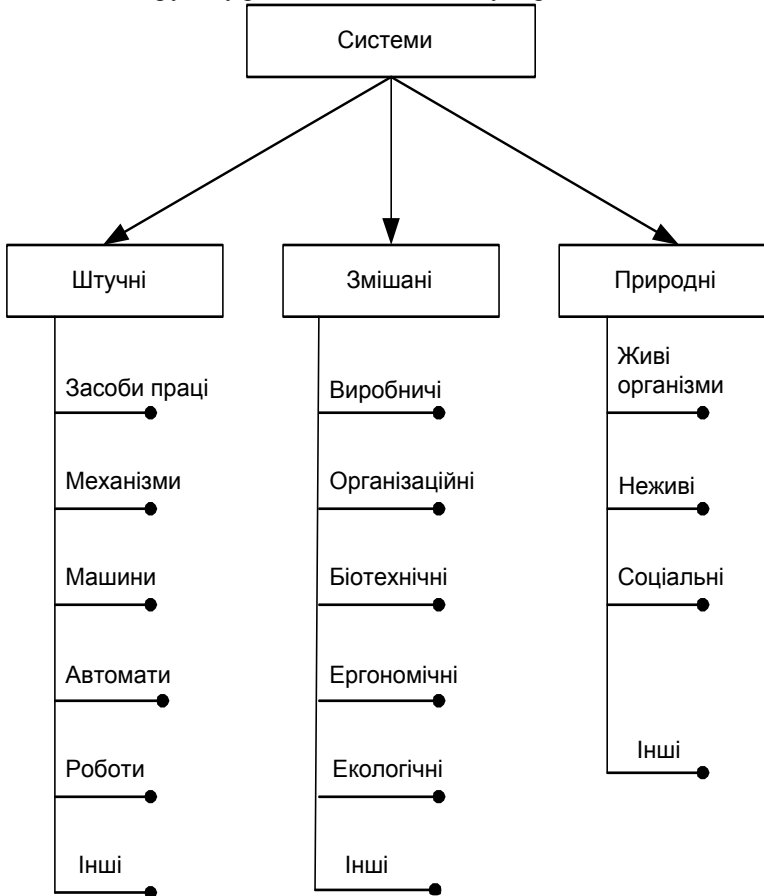


Рис. 4 - Класифікація систем за походженням

Класифікація за характером зв'язків з навколишнім середовищем

Під час розгляду ознак систем було помічено, що однією з головних ознак є наявність взаємодії з навколишнім середовищем. Залежно

від інтенсивності взаємодії системи поділяють на відкриті й закриті (замкнуті, ізольовані). Для замкнутої системи виконується закон збільшення ентропії. Поняття ентропії вперше було введене у розділі фізики – термодинаміці при вивченні теплових процесів у системах. Пізніше це поняття було уточнене й розширене. При вивченні інформаційних систем і подальшому розвитку науки стало зрозумілим, що поняття ентропії має загальний характер і визначає напрямок розвитку складних систем. Цей напрямок такий, що у замкнутій системі ентропія може тільки збільшуватись. Ентропія - це міра безладу, неупорядкованості системи. Всі процеси у замкнутих системах відбуваються так, що неупорядкованість, дифузність, хаотичність системи тільки збільшується. Наприклад, тепло завжди передається від більш нагрітих тіл до менш нагрітих і розподіл температури у системі вирівнюється, декілька розділених газів в одному об'ємі після усунення межі завжди перемішуються, рідина випаровується і т.п. Ентропія максимальна у системах, де більше хаосу, безпорядку. Відповідно до закону збільшення ентропії відбувається старіння живих організмів, руйнування будівель, руйнування гір і вирівнювання земної поверхні, остигання Сонця і загибель зоряних систем. У системі, в якій ентропія має найбільшу величину, припиняються всякі направлені процеси обміну речовиною, енергією, інформацією. Збільшення ентропії веде до стихійного хаосу. Відповідно до цього, наприклад, замкнутий всесвіт чекає “теплова смерть”, всякі замкнуті системи рано чи пізно гинуть. У відкритих системах внаслідок взаємодії з навколишнім середовищем відбуваються процеси, які приводять до зменшення ентропії до зростання упорядкованості системи. Інтенсивність взаємодії систем може змінюватись в широких межах: від слабкої, майже непомітної до дуже сильної.

Відкриті – це системи, які в процесі своєї діяльності обмінюються з середовищем матерією, енергією, інформацією.

Закриті (замкнуті, ізольовані) – це системи, в яких процеси обміну з навколишнім середовищем відсутні. Ці системи підпорядковані другому закону термодинаміки, закону збільшення ентропії.

Класифікація систем за складністю

Складність систем є важливою характеристикою, яку необхідно враховувати при аналізі. Складність систем може бути структурною або функціональною. Структурна складність полягає у наявності великої кількості елементів і їх взаємозв'язку. Функціональна складність виражається в наявності багатьох взаємозв'язків і взаємозалежностей.

Ці зв'язки можуть бути внутрішніми (між елементами системи) й зовнішніми(між системою та метасистемою).

Класифікація за принципами поведінки

Принципи поведінки систем схематично наведені на рис. 5.

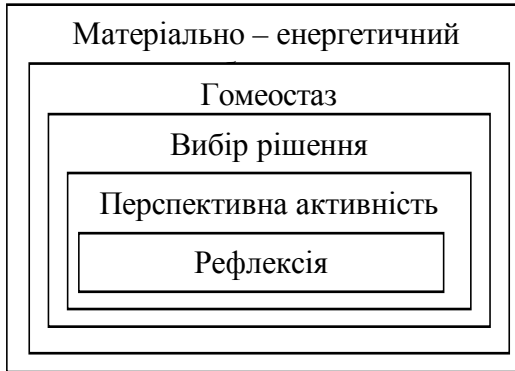


Рис. 5 - Принципи поведінки систем

Принцип матеріально-енергетичного балансу досить простий, а саме: поведінка системи зумовлена тільки законами фізики, законами збереження енергії, маси, рівнянням неперервності тощо. Дії цих законів підлягають усі системи матеріального світу, що показано на рис.5 прямокутником, який охоплює всі системи.

Принцип гомеостазу. Гомеостаз у перекладі з грецької означає незмінність стану (Gomeo – нерухомість, незмінність, stasis – стан). У науці гомеостазом називають таку поведінку динамічної системи (системи, що обмінюється з середовищем матерією та енергією), при якій зберігається постійний її склад та властивості внутрішнього середовища, стійкість головних функцій системи. Термін гомеостаз широко використовується в біології, медицині, генетиці, кібернетиці. У нашій класифікації він означає, що поведінка системи направлена на підтримання стабільності свого складу та функціональних властивостей, здатність системи повертатись у стан рівноваги. Цей принцип характерний поведінці систем живої природи, виконання його забезпечується для більшості штучних систем і у деяких систем неживої природі, які знаходяться у стані динамічної рівноваги.

Принцип вибору рішення. Поведінка систем обмежується не тільки підтриманням рівноваги у системі, але система має можливість

вибирати одну із декількох альтернатив своєї роботи, чи поведінки. Це такі системи, як, наприклад, різні автоматичні прилади, які в залежності від умов приймають один з можливих станів – це автоматизовані лінії запрограмовані на вибір дій з певної множини можливих варіантів.

Принцип перспективної діяльності виділяє системи, здатні організувати свою поведінку з урахуванням минулого досвіду на основі припущення, що майбутній розвиток суттєво не відрізнятиметься від минулого. Такі системи повинні мати достатній обсяг пам'яті і здатність прогнозувати хід подій на певний проміжок часу в майбутньому на основі інтерполяції та приймати рішення залежно від результатів такого прогнозування.

Принцип рефлексії полягає у тому, що система організує свою поведінку з урахуванням не тільки минулого досвіду, але й можливої дії іншої системи, з якою вона взаємодіє, тобто це поведінка систем, які наділені інтелектом, можливістю передбачати дії інших систем.

Класифікація систем за ступенем організованості

Принципи класифікації, які будуть розглянуті далі, пов'язані з рівнем наших знань про систему, з моделями системи, які ми будуємо і використовуємо для вивчення системи, з відшукуванням шляхів вирішення проблеми в системі. Питання моделювання та моделі систем будемо вивчати далі.

Ця класифікація в певній мірі відображає рівень наших знань про систему.

До добре організованих систем ми відносимо ті системи, поведінка яких жорстко детермінована, у системі встановлені чіткі взаємозв'язки між складовими частинами, що забезпечують дію системи в цілому. До таких систем відносяться тролейбус, телевізор, холодильник, пральна машина тощо. У них взаємозв'язки окремих механізмів чітко організовані і система діє тільки таким чином, як це дозволяє внутрішня організація.

Поняття добре організованої системи використовують також для відображення ступеня наших знань про систему. Ті системи, про внутрішню будову яких знають досить добре, відносять до добре організованих. Так, для конструктора автомобіль є добре організованою системою, оскільки він досконально знає усі механізми і взаємозв'язок між ними, а для того, хто тільки починає вивчати автомобіль, не знає його складових частин і взаємодії між ними, автомобіль є дифузною, погано організованою системою.

Під погано організованими (дифузними) системами розуміють системи, в яких взаємодія частин не детермінована однозначно, має випадковий характер. Типовим прикладом такої системи є газ, що знаходиться у певному об'ємі. Ознаки дифузної мають і добре організовані системи, наприклад, поведінка людини не завжди однозначна, не завжди однозначна дія великого трудового колективу та ін. До погано організованих систем належать ті системи, про які ми знаємо досить мало.

До самоорганізуючих систем відносяться системи, що мають механізми регулювання. Найбільш простими з них є системи саморегулювання. Це можуть бути механічні системи зі зворотним зв'язком. Такі системи ми будемо вивчати у курсі "Теорії автоматичного керування". Вони у своєму складі мають дві частини: частину, яка підлягає керуванню, - S, та керуючий пристрій чи регулятор - R. Зображують їх, як показано на рис. 6.

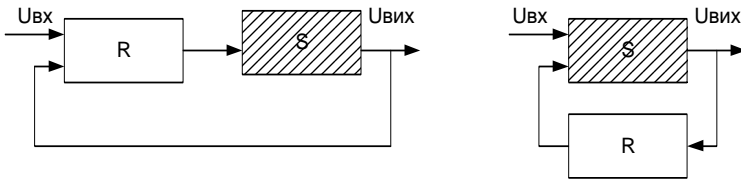


Рис. 6 - Системи зі зворотним зв'язком

У таких системах важливим є наявність зворотного зв'язку. Під останнім ми розуміємо подачу на вхід системи сигналу про вихідну величину (пропорційного, залежного від швидкості зміни чи інтегрального значення вихідної величини). Працює така система наступним чином. Вихідна величина системи, чи інформація про її стан подається на регулятор. Регулятор залежно від вимог, які стоять перед системою, та від інформації, яка надійшла через зворотній зв'язок, регулює її роботу.

Самонавчаючі системи - це системи, що мають здатність засвоювати й запам'ятовувати минулий досвід і змінювати свою поведінку відповідно до набутих знань.

Самовідновлювальні системи – це системи здатні відновлюватись повністю або частково. Живі організми та штучні системи, які відновлюються, здатні регенерувати певні органи, свої частини.

Самовідтворюючі – це системи, які можуть відтворювати подібні до себе системи, породжувати нові системи аналогічні собі. Це всі

живі організми, які можуть мати потомство. Деякі штучні системи можуть створювати системи такі ж, як вони самі, наприклад роботи.

Принцип ресурсної забезпеченості

Цей принцип повністю відноситься до можливостей створення та реалізації моделі системи. Модель створюють для того, щоб відтворити роботу системи, вивчити процеси в ній, її розвиток. Вимагається, щоб модель дозволяла вирішити проблему за обмежений час. Для того, щоб реалізувати таку модель потрібні певні енергетичні, матеріальні й інформаційні ресурси. У реальних випадках виявляється, що наявні ресурси не завжди дозволяють створити потрібну модель. Класифікація систем за ступенем ресурсної забезпеченості показана в табл. 2.

Таблиця 2 - Класифікація систем за ступенем ресурсної забезпеченості

Характер ресурсу	Забезпеченість	
	Повна	Недостатня
Енергетичний	Звичайні	Енергокритичні
Матеріальний	Малі	Великі
Інформаційний	Прості	Складні

Першим в цій таблиці є енергетичний ресурс, тобто затрати енергії, які треба витратити для побудови моделі системи. Для більшості систем побудова моделі не потребує значних енергетичних ресурсів, такі системи за ступенем енергозабезпеченості відносять до звичайних. З обмеженістю енергетичних ресурсів ми стикаємось тоді, коли для побудови моделі системи потрібні значні витрати енергії. Прикладом таких систем є мікросвіт, системи елементарних частинок матерії. Для побудови їх моделі і вивчення потрібні велетенські прискорювачі, які споживають значну енергію. Такі системи відносять до класу енергокритичних.

Наступний тип ресурсу є матеріальний. Залежно від матеріальних ресурсів, потрібних для створення моделі, системи поділяють на малі та великі. Великі системи - це системи для створення моделі яких наявних матеріальних ресурсів недостатньо або потрібні більші ресурси, ніж є в наявності, наприклад, система функціонування економіки країни, атмосфера землі та ін. При вирішенні ряду економічних завдань, екології, метеорології, організаційно-управлінських завдань створення моделей потребує значного обсягу пам'яті ЕОМ, великих матеріальних затрат. Системи, моделювання яких обмежене внаслідок великих розмірів, необхідності значних матеріальних затрат класифі-

кують як великі, в протигагу малим системам, які таких матеріальних затрат не потребують.

У системному аналізі часто велику систему переводять в розряд малих, енергокритичну – в розряд звичайних. Це можна здійснити, якщо розбити завдання, для вирішення якого недостатньо матеріальних ресурсів, на ряд окремих завдань, на завдання меншої складності й розв'язувати кожне окремо.

Третій тип ресурсів – інформаційні. Відповідно до класифікації системи можуть бути простими чи складними. Ознакою простоти системи є достатність інформації для успішного керування нею. Коли наявна інформація не дозволяє успішно здійснювати керування системою, то систему вважають складною. Наприклад, економіка країни є складною системою, оскільки інформації для успішного керування нею недостатньо. Кодовий замок зі складною системою шифрів є складним для того, хто не знає шифрів і простим для того, хто знає шифри замка. Рідна мова для кожного є проста система, а іноземна, якою він не володіє, є складною. Комп'ютер для того, хто уміє з ним працювати є простою системою, а для того, хто не володіє комп'ютерною грамотністю – складною системою.

Отже, за ресурсною забезпеченістю ми маємо три види ресурсів і система класифікується по кожному виду ресурсу окремо. У класифікації системи вказують, наприклад, система мала, енергокритична, проста. Це означає, що при її моделюванні ми повністю забезпечені матеріальними ресурсами, відчуваємо недостатність енергетичних ресурсів і досить добре можемо керувати поведінкою системи. Під час класифікації систем за ресурсною забезпеченістю можливі різні комбінації ознак.

Класифікація за характером цілей

За характером цілей системи прийнято класифікувати як системи, призначені для певної цілі, так і системи, здатні самостійно обирати ціль і прагнути до неї (рос. целенаправленные и целеустремленные).

Системи, призначені для певної цілі – це такі системи, які мають певну ціль свого існування, створені для певної цілі і функціонують завжди так, щоб виконати цю ціль. Наприклад, холодильник, пральна машина, телевізор, електродвигун служать для певних цілей, які обумовлені при їх створенні.

Системи, здатні обирати ціль і прагнути до неї, – це системи, які самостійно обирають ціль і прагнуть до неї. Наприклад, людина, трудовий колектив можуть самостійно вибирати ціль своєї діяльності. Проте не всякий колектив може бути системою, яка обирає ціль, на-

приклад, колектив тролейбусного депо має одну ціль – забезпечення випуску тролейбусів на маршрут відповідно до встановленого графіка, тому слід відносити такий колектив до класу систем, призначених для певної цілі.

Класифікація за описом змінних

Дана класифікація здійснюється залежно від ступеня складності системи, наших знань про неї і від того, як ми описуємо функціонування системи. Змінними системи є вхідні величини $X(t)$, вихідні $y(t)$ та внутрішні параметри системи $Z(t)$. Відповідно до типу цих величин розрізняють системи з кількісним описом змінних, системи з якісним описом та системи зі змішаним (частково з кількісним, а частково з якісним) описом.

Системи, функціонування яких повністю відоме і можна кількісно встановити значення змінних, відносять до систем з кількісним описом змінних. На другому рівні класифікації такі системи можуть бути класифіковані за характером змінних як дискретні, чи неперервні, за кількістю змінних: одно – чи багатовимірні та за іншими параметрами.

Системи з якісним описом - це системи, в яких вхідні й вихідні величини описуються якісно. На другому рівні вони можуть бути класифіковані як системи зі змістовним описом, з формалізованим описом та із змішаним описом. Системи зі змістовним описом мають тільки загальний словесний опис змінних, виконаний мовою, близькою до розмовної. Системи з формалізованим описом - це вже системи, в яких більш докладно вивчені змінні, які підлягають певним формальним правилам і можуть бути описані на деякій формальній мові.

Системи зі змішаним описом змінних – це системи, в яких деякі змінні приймають числові значення, які можна виміряти й виразити числом, а інші описані тільки якісно.

Класифікація за типом операторів системи

Якщо класифікація систем за типом змінних обумовлює якими є вхідні, вихідні й внутрішні змінні системи, то класифікація за типом операторів відображає зв'язок між цими змінними в системі, тобто вона несе інформацію про те, які процеси відбуваються в системі, динаміку системи. Змінні системи, її вхідні й вихідні величини між собою завжди зв'язані певними залежностями, співвідношеннями. Ці залежності можуть бути описані певними операторами системи, які визначають процесування вхідних величин у вихідні.

Системи, в яких внутрішні процеси зовсім невідомі і оператори явно не можуть бути записані, відносять до класу систем “чорний ящик”. Для таких систем відомі тільки вхідні й вихідні величини і зовсім не відомі процеси перетворення вхідних величин у вихідні.

Системи, в яких частково відомі процеси перетворення вхідних величин у вихідні, оператори системи можуть бути записані у вигляді певних правил, відносять до непараметризованого класу.

Системи, для яких співвідношення між вхідними й вихідними величинами повністю відомі, можуть бути записані у явному вигляді з точністю до певних числових параметрів, відносять до параметризованого класу.

Для деяких систем параметризованого класу співвідношення між вхідними й вихідними величинами можуть бути описані в операторній формі, наприклад, у вигляді:

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

де R - певний оператор.

Такі системи відносять до класу “білий ящик”. Під цим терміном розуміють, що повністю відома внутрішня будова системи, закономірності її функціонування.

На другому рівні класифікації системи класифікують залежно від типу операторів. Класифікація виконується для систем параметризованого класу та класу “білий ящик”. Зрозуміло, що для систем типу “чорний ящик” подальша класифікація неможлива, а для систем непараметризованого класу на другому рівні загальну класифікацію виконати важко, оскільки вона залежить від інформації про систему, яка відома лише частково. В якості операторів системи можуть бути звичайні й диференціальні рівняння, більш складні матричні співвідношення та ін. Залежно від характеру рівнянь системи можуть бути лінійні й нелінійні, від того, який тип рівнянь, дискретні та неперервні, залежно від зміни величин у часі: інерційні й безінерційні, з пам’яттю, залежно від зміни параметрів системи в часі, стаціонарні й нестаціонарні.

Класифікація за способом керування

Ця класифікація здійснена на двох рівнях (рис. 7).

Перший рівень класифікації визначає, чи входить блок керування у саму систему чи знаходиться поза нею. Самокеровані системи мають власний блок керування, у систем, керованих зовні, блок керування відсутній і існує тільки зовнішнє керування. Системи з комбінованим керуванням - це такі системи, в яких є блок керування у самій системі, за допомогою якого здійснюється керування певними параметрами, але система підлягає також зовнішньому керуванню.

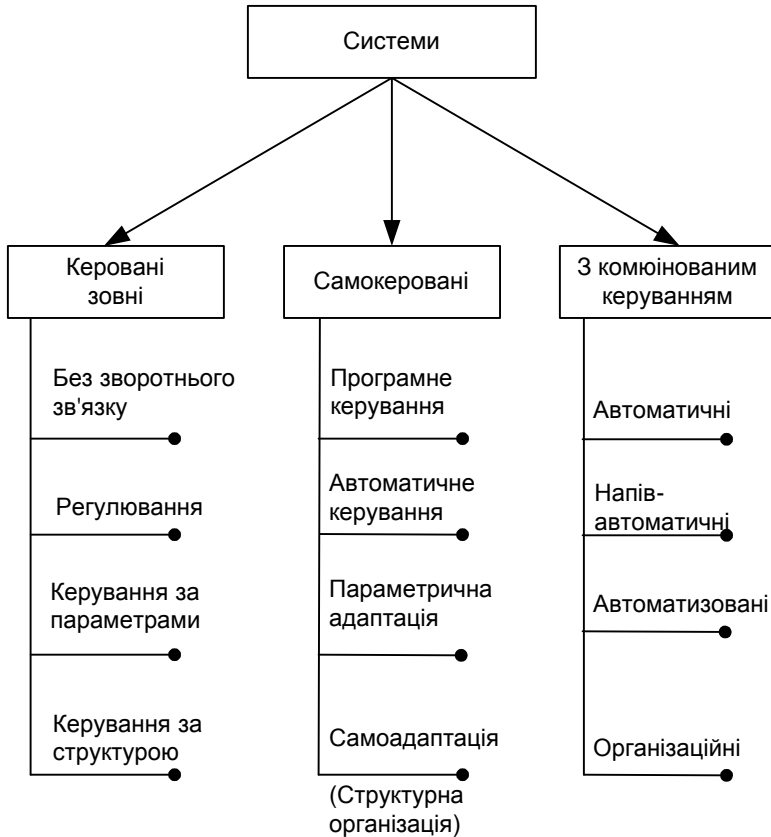


Рис. 7 - Класифікація систем за способом керування

Другий рівень класифікації поділяє системи за ознакою, як саме здійснюється керування. Для всіх систем підкласи другого рівня мають певні спільні ознаки.

Системи з керуванням без зворотного зв'язку - це такі системи, як, наприклад, велосипед, пылесос, автомобіль у яких відсутні механізми зворотного зв'язку і режими роботи строго обумовлені керуючою дією. До цього підкласу відносяться також верстати програмного керування, які мають одну чи декілька жорстких програм роботи і не здатні змінювати їх при зміні зовнішніх умов.

Системи наступного підкласу відрізняються наявністю зворотного зв'язку. Зворотній зв'язок забезпечує автоматичне регулювання системи, підтримання параметрів системи при змінах характеристик

зовнішнього середовища. До таких систем відносяться, наприклад, холодильник, генератор електростанції із системою автоматичного підтримання постійної напруги й частоти. До таких систем частково можна віднести і автомобіль, оскільки в нього є механізми зворотного зв'язку, наприклад, підтримання автоматичної роботи двигуна в режимі холостого ходу, телевізори, які автоматично настроюються на частоту радіостанції, мають автоматичне регулювання яскравості екрану, автоматичне регулювання коефіцієнта підсилення тощо.

Системи з керуванням за параметрами – це такі системи, в яких не тільки здійснюється зворотній зв'язок за вихідною величиною, а і можлива зміна параметрів самої системи. Прикладами таких систем є адаптивні автоматизовані системи керування, адаптація живих організмів до зміни умов життя, робота пілотів на різних типах літаків, робота водіїв на різних автомобілях у різних умовах руху та інші системи.

Найбільш складними є системи керування, якими здійснюються шляхом зміни структури самої системи. Такі системи працюють у надзвичайно складних умовах і зміна структури системи дозволяє їм пристосуватись до нових умов. До таких систем слід віднести гнучкі автоматизовані системи сучасних виробництв, які дозволяють переходити з випуску однієї продукції на іншу, живі організми, в яких відбуваються зміни під час еволюції та природного відбору, державу та органи державного управління, в яких відбуваються організаційні зміни в процесі розвитку країни.

Контрольні запитання

1. За якими ознаками здійснюється класифікація систем?
2. Яке значення має класифікація систем для вивчення даного навчального предмета?
3. Які абсолютні сторони класифікації систем?
4. У чому полягає відносність класифікації?
5. Як Ви розумієте поняття принципи класифікації?
6. Що розуміють під ієрархічною системою класифікації?
7. Як класифікують системи залежно від того, з чого вони створені?
8. Як класифікують системи за походженням?
9. Які труднощі визначення цілей систем штучного походження?
10. Які труднощі визначення цілей систем природного походження?
11. Як визначити об'єктивні цілі системи?

12. Чому виникає потреба класифікувати системи за ступенем зв'язку з навколишнім середовищем?
13. Чим відрізняється розвиток замкнених і розімкнутих систем?
14. До яких систем відноситься поняття “теплова смерть”, у чому його суть?
15. Сформулюйте друге начало термодинаміки.
16. Яка роль поняття “ентропії” у системному аналізі?
17. Які принципи поведінки систем Ви можете назвати?
18. Що таке зворотній зв'язок, у якому класифікаторі він враховується?
19. Які способи самокерування властиві системам?
20. Які принципи поведінки систем Ви знаєте?
21. Що розуміють, коли відносять систему за принципом поведінки до систем матеріально-енергетичного балансу? Які системи можна віднести до таких систем?
22. Що таке принцип гомеостазу?
23. У чому полягає принцип поведінки рефлексії?
24. Які системи слід віднести до дифузних?
25. У чому полягає сутність ознаки – добре організовані та погано організовані?
26. Які види ресурсної забезпеченості властиві системам?
27. Чим відрізняються цілеспрямовані теми від ціленаправлених?

Розділ 4. Початкові кроки системного аналізу

1. Формалізовані процедури й алгоритми системного аналізу

Системний аналіз виник з потреб практичної діяльності людини. У практичній діяльності часто зустрічаються випадки, коли необхідно вирішити певну проблему, прийняти конкретне рішення, а потрібна інформація відсутня чи недостатня, обмежені матеріальні ресурси, відведено малий час для прийняття рішення. Такі випадки особливо характерні при роботі з великими системами. Вирішення транспортних, містобудівельних, економічних, екологічних проблем часто необхідно здійснювати в умовах обмежень. У буденному житті кожної людини такі випадки також зустрічаються досить часто. Керувати роботою великих систем, вивчати і проектувати їх майже завжди доводиться при обмеженні ресурсів, інформації та часу. Системний аналіз якраз і направлений на вирішення таких проблем, він дозволяє якнайдетальніше проаналізувати проблему і виробити рекомендації по її вирішенню. Особливості системного аналізу випливають з природи складних систем. Маючи цілком вирішити проблему або, в крайньому разі, виявити її причини та намітити можливі шляхи вирішення, системний аналіз використовує засоби різних наукових дисциплін. Основою його є сучасні методи наукових досліджень: спостереження, експеримент, математичний аналіз, обчислювальна техніка тощо.

Системний аналітик (спеціаліст із системного аналізу) при дослідженні реальної системи має справу з різними проблемами. Кожній системі властиві свої особливості, для їх вивчення потрібні глибокі професійні знання. Але це не означає, що виконувати системний аналіз не може людина, яка недостатньо володіє тою чи іншою професією. Специфіка системного аналізу полягає в тому, що спеціаліст системного аналізу повинен мати професійні знання, перш за все, по методах і підходах до аналізу системи, до вирішення проблем, які виникають у практичній діяльності. Він повинен добре знати й виконати класифікацію систем, володіти методами моделювання, уміти побудувати модель системи і розглянути роботу системи в різних умовах, уміти сформулювати різні підходи до вирішення проблеми, генерувати варіанти вирішення проблеми, вибрати критерії оцінки і оцінити ефективність кожного із запропонованих варіантів. Для цього системний аналітик повинен мати широку ерудицію і володіти всіма сучасними ме-

тодами системного аналізу, математики та обчислювальної техніки. Крім цього, в системному аналізі важливе значення має набутий досвід, без якого неможлива ефективна робота і вирішення поставлених завдань.

Однозначний алгоритм вирішення задач системного аналізу відсутній і створити його неможливо. Але в системному аналізі існують певні правила, певні рекомендації, які дають можливість вирішити проблеми, які виникають у практичній діяльності. Вони дають позитивний результат при правильному їх використанні. Ці правила зумовлюють порядок виконання системного аналізу, процедури та засоби, що використовуються на етапах аналізу. Перше, що треба зробити при виконанні системного аналізу, це чітко сформулювати проблему, цілі системи і завдання, які необхідно вирішити. Наступним етапом аналізу є збір необхідної інформації, її класифікація та структуризація. Початкова інформація, що, як правило, має описовий характер, подається на так званому вербальному (словесному) рівні. Подальшими кроками системного аналізу є побудова моделей систем. У системному аналізі, як науковій дисципліні, створено велику кількість моделей різного призначення для аналізу систем. Найпростіші моделі описують системи у загальному вигляді, більш складні дозволяють вивчити всі особливості конкретної системи. Моделі системного аналізу, подані у загальному вигляді, мають назву формальних. Формальні моделі - це опис характерних ознак типу моделі. На основі формальних моделей аналітик створює змістовні моделі, в які вносить одержані знання конкретної системи. За допомогою створених моделей вивчаються процеси у системі, перспективи її розвитку. На наступних етапах аналізу створюють альтернативні варіанти вирішення проблеми, вибирають критерії, знаходять шляхи вирішення проблеми, оцінюють ефективність одержаних рішень.

Крім формалізованих процедур системного аналізу, яким властиві чіткі правила і порядок виконання, не менше значення у системному аналізі мають неформалізовані процедури, зумовлені особливостями кожної конкретної системи, проблемами, які необхідно вирішити. Наприклад, перше питання системного аналізу – формулювання цілей системи не може бути формалізоване, а потребує мислення та глибокого аналізу системи. Наявність неформалізованих процедур потребує вміння мислити неформально, творчо підійти до вирішення проблеми. Успіх вирішення проблем системного аналізу значною мірою залежить від навиків та досвіду аналітика.

2. Формування цілей аналізу, точки зору та контексту розгляду системи

Приставаючи до виконання системного аналізу, перш за все треба чітко сформулювати сутність проблеми, яку потрібно вирішити, обмежити границі системи, її оточення та умови, в яких треба вирішити проблему.

Ці питання об'єднуються такими трьома поняттями, як цілі аналізу, точка зору аналітика і контекст розгляду проблеми. Цілі аналізу дозволяють уточнити проблему, сформулювати завдання, які зумовлюють досягнення поставленої цілі. Цілі аналізу завжди нерозривно пов'язані з точкою зору, на основі якої розглядається проблема. Їх завжди формулює певна людина, яка працює з системою. Без такої людини цілі не можуть бути визначені. Тому одночасно із визначенням цілей слід вказати, з якої точки зору розглядається проблема, точку зору особи, для якої саме ці цілі є головними. Ці два питання вирішуються в певній системі, обмеженій границями системи, яка знаходиться в певному оточенні. Границі системи і її оточення входять у таке поняття, як контекст розгляду системи. Розглянемо докладніше ці поняття.

Головною рисою системного аналізу є його цільовий характер і практична направленість. Системний аналіз завжди виконують для вирішення конкретних проблем, які виникли в практичній діяльності людини. Його здійснюють системні аналітики разом з людьми, які добре знають систему і проблеми, які необхідно вирішити. Системний аналіз розпочинається з чіткого визначення та формулювання цілей і завдань. Перш за все, визначають ціль існування системи, а після цього завдання, які потрібно вирішити. Питання цілей системи, як ми бачили з попереднього матеріалу, не завжди вирішується просто. Для систем штучного походження сформулювати цілі легко. Проте навіть для таких систем цілей може бути декілька і при їх формулюванні виникає ряд труднощів. Розглянемо деякі з них.

Цілі системи повинні бути сформульовані чітко, лаконічно й визначати всі особливості саме тієї системи, для якої виконується аналіз. Але не завжди можна так сформулювати ціль. Всяка система, крім головної цілі, має ряд інших цілей. Одній і тій цілі може задовольняти ряд різноманітних систем. Наприклад, для перевезення людей служить велика кількість різних транспортних засобів, як, наприклад, трамвай, тролейбус, автобус, метрополітен, таксі та ін. Цілі кожного виду транспорту повинні бути вказані так, щоб вони однозначно визначали ту чи іншу систему. Ціллю тролейбуса може бути масове перевезення паса-

жирів по звичайних міських дорогах з використанням електричної тяги, а трамвая - по спеціально обладнаних трамвайних шляхах при найбільш економному використанню енергоресурсів. Цілі міського транспорту повинні також відображати цілий ряд особливості кожного виду транспорту. Так, підземний транспорт у містах, а саме метрополітен, крім завдань перевезення пасажирів, вирішує також містобудівельні завдання. Він дозволяє зменшити транспортну напруженість міських магістралей, змінити планування міста з чисто площинного на площинне з елементами об'ємного, збільшити доступність жителів віддалених районів до центру міста. Наземний транспорт найбільш різноманітний і служить для вирішення самих різноманітних завдань. У містах ми маємо маршрутизований і немаршрутизований транспорт, електричний і автомобільний тощо. Отже, цілі системи повинні враховувати не тільки загальні особливості, а й визначати індивідуальні особливості кожної системи.

Цілі системи, як правило, змінюються протягом часу. Наприклад, якщо перші автомобілі мали ціллю тільки перевезення пасажирів і вантажів, то в міру розвитку автомобілебудування ці цілі розвиваються, диференціюються, доповнюються іншими цілями. Крім завдань перевезення, виникають вимоги комфортності, швидкості, простоти керування та цілий ряд ін. У результаті з'явилась велика кількість різноманітних автомобілів, які служать для різних цілей, задовольняють різні потреби. Кожній цілі відповідають різні автомобілі, такі як: легковий автомобіль, автобус, пожежна машина, танк тощо.

Цілі системи можуть змінюватись, уточнюватись залежно від конкретної обстановки, потреб, які виникають в певний час. Так цілями міського транспорту крім перевезення населення в робочі і вихідні дні є рятування людей під час стихійного лиха, під час військових дій тощо. Отже ми бачимо, що формулювання цілей навіть штучних систем є досить складним завданням.

Ще більші труднощі виникають тоді, коли виконується аналіз системи, яка повинна бути створена. Основна ціль системи може бути пов'язана з іншими цілями. На формування цілей впливає ще цілий ряд факторів:

- По-перше, ціль - це антипод проблеми. Формулюючи проблему, ми говоримо що нам не подобається. Зробити це порівняльно легко, оскільки те, що нам не подобається, існує. Формулюючи ціль, ми вже в певній мірі передбачаємо як те, що нас не задовольняє, має бути вирішено, хоча рішення проблеми ще немає і його треба знайти.

- По-друге, існує проблема заміни цілі засобами її досягнення. Наприклад, ставиться ціль "як прокласти маршрут нової тролейбусної

лінії” тоді, коли ціллю має бути “як покращити транспортне обслуговування жителів певного району”? Якщо розглядати проблему детальніше, то може виявитись, що зовсім немає необхідності будувати нову трамвайну лінію і покращити транспортне обслуговування можна іншими методами. Але електротранспортники, саме таким чином сформулювали проблему, виходячи із своїх вузькопрофесійних інтересів.

- По–третє, на формулювання цілей впливає система цінностей, що їх дотримуються особи, які виконують аналіз чи можуть приймати рішення.

- По-четверте, цілі не завжди залишаються постійними, вони змінюються протягом певного часу під впливом різних факторів.

- При визначенні цілей існує ще одна обставина. Системний аналіз виконується для вирішення проблем, що виникають у конкретних людей чи груп людей. У різних людей цілі можуть бути різними. Той же автомобіль може розглядатися з точки зору потреб сім’ї у перевезеннях, з точки зору конструктора, будівельника міста, пожежника, військового, економіста тощо. У кожного буде свій погляд на систему, свої завдання, які повинна вирішувати система.

- Важливо також враховувати цілі існування системи і цілі, для досягнення яких виконується аналіз.

Наступне питання, яке треба вирішити на початкових етапах системного аналізу є вибір точки зору. Він полягає у виборі такої особи, з точки зору якої система розглядається найбільш повно, у найбільшій відповідності з цілями аналізу.

Для виконання системного аналізу, враховуючи розглянуті вище питання формулювання цілей, необхідно чітко визначити і точку зору, на основі якої виконується аналіз. Подекуди при вирішенні практичних завдань вибір точки зору не викликає труднощів. Як правило, завдання для аналізу, його цілі формулює особа, яка замовляє такий аналіз і є наперед зрозумілою точка зору, з якої потрібно розглядати систему. Але навіть у такому випадку для вирішення проблеми найкращим способом треба стати на найбільш загальну точку зору. Зміна точки зору інколи може наштовхнути на шлях вирішення проблеми. Тому чітке усвідомлення точки зору, її формулювання у системному аналізі відіграє велику роль. Вибравши певну точку зору, весь подальший аналіз необхідно виконувати, дотримуючись саме вибраної точки зору. Зміна точки зору в ході виконання системного аналізу не допускається. Ця зміна може бути причиною того, що результати аналізу втрачуть цілісність, перетворяться в набір фактів, які не пов’язані між собою, створені моделі системи не будуть адекватними самій системі, а проблеми не будуть вирішені.

Після вибору точки зору цілі аналізу повинні бути уточненими. Цілі аналізу і точка зору завжди взаємозв'язані. Наприклад, проблеми міського транспорту можуть розглядатися з точки зору забезпечення функціонування міського господарства в цілому (безперебійної роботи заводів, навчальних закладів, закладів культури, ринків тощо), з точки зору економіста (одержання максимальних прибутків), з точки зору архітектора (планування території міста), з точки зору міліції (організація безаварійного руху) і т.п. Кожній точці зору відповідають свої завдання, свої цілі аналізу, свої методи вирішення проблем. Причому ці цілі можуть не тільки не співпадати, але й бути протилежними. Отже, формулювання точки зору вимагає уточнення цілей аналізу.

Відмінність у постановці цілей системного аналізу від інших наук полягає в тому, що для всіх наук постановка цілей є вихідним моментом вирішення будь-якої проблеми. У системному аналізі формулювання цілей є результатом складної і копіткої роботи по вивченню системи, її взаємодії з навколишнім середовищем. Наприклад, у системі “міський транспорт” переплітаються інтереси багатьох людей, багатьох організацій міста. Тут проблеми містобудівельні, архітектурні, екологічні, тут потреби окремих людей і потреби великих підприємств, де люди працюють. Формулювання цілей, як правило, здійснюється не одноразово, до цих питань доводиться повертатися кілька разів. Чим складніша система, тим більшу кількість циклів аналізу необхідно виконати для уточнення і формулювання цілей аналізу.

Третя сторона, яку ми вказали, - це визначення контексту розгляду системи. На початкових етапах виконання системного аналізу треба врахувати і чітко визначити оточення, в якому розглядається система. Наприклад, конструктор розробляє проект нового автомобіля. Автомобіль буде випускатись певним заводом з певною технологією, обладнанням, досвідом роботи. Конструктор, приступаючи до виконання проекту, вступає у певну, не залежну від нього, систему відносин. Мається на увазі, що вже наявний великий досвід конструювання автомобілів і є практичні рекомендації, як зробити його кращим, що дозволяється робити, а що ні. Існують стандарти, які регламентують параметри автомобіля, і відійти від них неможливо. Існує ціла галузь автомобілебудівної промисловості, що виготовляє двигуни, колеса і масу інших вузлів, які конструктору бажано використати. Існує економічне оточення, що визначає ціни, тарифи, обмеження тощо. Ці всі умови оточення визначаються поняттям контекст розгляду проблеми. При системному аналізі необхідно вказувати контекст, тобто чітко обмежити границі і вказати зовнішні умови, в яких розглядається система. Наприклад, контекст розгляду системи “міський транспорт” вклю-

чає в себе архітектурне планування міста, транспортні споруди, наявність певної структури вулиць, величину пасажиропотоків, систему керування рухом транспорту, ступінь розвитку транспортного будівництва в країні, фінансові обмеження, законодавче регулювання тощо.

3. Опис системи на вербальному рівні

Після визначення цілей, точки зору та контексту наступним кроком системного аналізу є збір, аналіз та структуризація інформації про систему. На перших етапах аналітик має певні загальні знання про дану систему, що мають загальний, розпливчастий, неконкретизований характер, вони неповні, невпорядковані. У міру вивчення проблеми кількість знань збільшується, знання певним чином впорядковуються, структуруються. Вони головним чином мають описовий, словесний характер. Виникає необхідність їх впорядкувати, систематизувати. Першим етапом впорядкування інформації є відображення її в описовій формі аналізу системи. Одержана інформація про систему знаходить відображення на так званому вербальному рівні. Аналіз системи на цьому рівні включає такі три найбільш загальні форми опису:

- історична (історичний аналіз);
- предметна (морфологічний аналіз);
- функціональна (функціональний аналіз).

Ці форми опису системи, її аналізу зумовлені однією з головних вимог системного аналізу, а саме вимоги багатоплановості розгляду системи. Система має бути розглянута з різних сторін, у різних планах.

Історична форма опису системи

Для вирішення будь-якої проблеми завжди треба зрозуміти, як виникла система, як вона розвивалась, який шлях пройшла, коли, на якому етапі розвитку виникла проблема. Відповіді на ці питання можна одержати, якщо розглядати систему в історичному аспекті, тобто починаючи із зародження і виникнення системи до її сучасного стану і перспектив розвитку в майбутньому. Такий аналіз є історичною формою опису. Вона включає в себе два види дослідження: генетичне й прогностичне.

Генетичне дослідження (генетичний опис) направлене на вивчення походження системи, процесів її формування, розвитку до того моменту, коли ми її вивчаємо. У ньому розкривають походження системи, умови її зародження та виникнення. Виконуючи це дослідження, одержують відповіді на запитання, хто, як, коли і для чого створив дану систему, що було вихідним матеріалом для її створення, як вона

розвивалась. Генетичний опис включає всі кроки розвитку системи, стани та етапи її життєвого циклу, причини, якими були зумовлені зміни в системі. Цей аналіз дозволяє зрозуміти, чому причина труднощів і проблем, що виникають у системі в даний час.

Прогностичний опис (дослідження, аналіз) пов'язаний з розглядом перспектив майбутнього розвитку системи, її можливих станів і очікуваної поведінки на певний проміжок часу. Він включає в себе вивчення майбутніх шляхів розвитку системи, її можливих станів, етапів життєвого циклу. Він спрямований на розуміння цілей, до яких прагне система. Прогностичний аналіз дає змогу відповісти на запитання, як треба діяти в даний час, яким шляхом можна вирішити проблеми системи. Він обмежує коло можливих рішень проблеми, дозволяє вибрати найбільш ефективні з них. Виконуючи прогностичний опис, необхідно запобігати двом крайностям. Перша - це намагання дуже детально розробити план розвитку системи на етапі її попереднього розгляду, наприклад, план розвитку міста на 10 – 20 років. Такий аналіз в системному аналізі виконується, але виконується він на наступних етапах і основою його є певні моделі системи. Друга крайність - це відрив від дійсності і складання нереальних планів, як-от побудова міжпланетної шахової столиці в місті Нью-Васюки у відомій книзі Ільфа і Петрова “Дванадцять крісел”. Прогностичний опис необхідний, щоб зрозуміти тенденції розвитку системи, узгодити їх з вирішенням проблем, що виникли в даний час.

Предметна форма опису системи

Предметна форма опису системи (морфологічний аналіз) включає:

- виявлення елементного складу системи (субстрактний аналіз);
- виявлення відношень (зв'язків) між елементами системи (структурний аналіз).

Субстрактний аналіз, тобто виявлення елементного складу системи виконують для того, щоб зрозуміти, з яких елементів складається система, яка її будова, які складові частини. При виконанні субстрактного аналізу виходять з ознаки цілісності системи. Усі складові частини повинні у сукупності створювати систему, поняття цілісності дозволяє зрозуміти необхідність кожного елемента в системі. Під час вивчення елементного складу системи доводиться вирішувати ряд досить складних питань. Такими питаннями є визначення необхідного структурного рівня аналізу, виявлення усіх іманентних (властивих системі) і випадкових елементів. Відповіді на ці питання можна одержати на основі аналізу цілісності системи та умов, необхідних і достатніх

для існування системи. Система, як ми це знаємо з попереднього матеріалу, завжди є структурована. Всяка система у своєму складі має певні структури, розміщені на різних ієрархічних рівнях. Чим детальніше ми виконуємо аналіз, тим більше структурних рівнів вивчаємо. При вивченні складу системи виникає запитання, який рівень вважати рівнем елементарних частинок системи, а який більш високим структурним рівнем, на якому рівні обмежити вивчення системи. Відповіді на ці запитання можна отримати на основі аналізу цілісності системи та умов необхідності й достатності даних структурних елементів у системі. Ці умови завжди пов'язані з цілями і завданнями системного аналізу. Коли глибина аналізу така, що можна одержати відповідь на питання дослідження системи, то вважають, що структурні складові системи є елементарними і подальший аналіз припиняється. Виявлення іманентних та випадкових елементів системи здійснюють на основі необхідності й достатності цих елементів для функціонування системи, для виконання нею своїх цілей. Відповідно до цього правила елемент є іманентним, тобто властивим даній системі, якщо він необхідний для її функціонування. Елемент, який з точки зору функціонування системи не є необхідним, вважається випадковим, не властивим системі. Для завершення аналізу відповіді на запитання, чи всі іманентні елементи системи виявлені, користуються правилом достатності. Відповідно до нього встановлюють, чи виявлена сукупність елементів у їх взаємозв'язку і достатня для виконання системою усіх її завдань.

Склад системи, як правило, описують у наступних термінах: система, підсистема, складова частина, елемент. При вивченні, наприклад, складу такої системи, як тролейбус, можуть бути виділені такі підсистеми: ходова частина, електрообладнання, кузов, шасі, система керування. Виділені на кожному рівні частини повинні задовольняти умові повноти, тобто в сукупності вони повинні становити всю систему. Кожна з підсистем може бути розділена на певні вузли, або елементи. Так, в підсистемі електрообладнання можна виділити такі вузли, як тяговий двигун, пусковий контролер, система прийому й передачі електроенергії, допоміжні двигуни, компресор, акумулятор тощо. Рівень, на якому складові частини вважаються елементарними, зумовлені цілями дослідження системи. Подальший склад елементарних частин не вивчається.

При вивченні складу організаційних систем, наприклад, системи міського електротранспорту, виділяють окремі підрозділи системи, її структурні одиниці. У нашому прикладі це може бути керівництво на чолі з директором, депо, енергослужба, служба руху, служба шляхового господарства тощо. Елементами організаційної системи можуть бу-

ти окремих цехів, депо, дільниця і т.п. При визначенні елементного складу важливо дотримуватись умови цілісності, умови достатності та необхідності. Всі виділені елементи повинні бути необхідними і достатніми для забезпечення функціонування системи, виконання нею своїх цілей.

Для вирішення проблеми цілісності системи треба розглядати систему як частину деякої метасистеми (великої системи, до складу якої вона входить). Такий розгляд дозволяє зрозуміти призначення даної системи, головну роль, яку вона відіграє у метасистемі, необхідність зовнішніх функцій та внутрішнього складу системи.

Структурний аналіз - це виявлення зв'язків між складовими частинами системи. Якщо субстрактний аналіз дозволяє виявити, які частини входять до складу системи, то структурний аналіз встановлює взаємозв'язки між цими складовими частинами. Структурний аналіз вирішує два типи завдань:

- виявлення закономірності зв'язків елементів системи,
- виявлення ступеня складності системи.

Закономірності зв'язків частин системи дозволяють зрозуміти внутрішню будову системи, призначення окремих елементів. Вони визначають, як частини системи взаємодіють між собою, як система працює і здійснює свої функції. Виявленню всіх зв'язків допомагає розгляд цілісності системи, аналіз її цілей. Внутрішні зв'язки елементів повинні забезпечувати цілісність і виконання функцій системи. Для перевірки повноти виконаного аналізу слід також використовувати принципи необхідності й достатності. Якщо виділені зв'язки забезпечують усі функції системи, то аналіз треба вважати виконаним повністю. Аналіз необхідності дозволяє не брати до уваги випадкові зв'язки, що існують між елементами, але не відіграють ролі при функціонуванні системи.

Значну допомогу при структурному аналізі має розгляд системи як складової частини метасистеми. Розуміння ролі системи у метасистемі, взаємодії системи з навколишнім середовищем і функцій, які вона відіграє у метасистемі дозволяє проаналізувати наскільки повно виконано структурний аналіз системи, вивчена взаємодія її частин.

Ступінь складності системи залежить від того, на кількох структурних рівнях розміщені складові частини системи. Залежно від складності у системах розрізняють координаційні й субординаційні зв'язки між елементами. Координаційні зв'язки - це зв'язки між частинами систем, що знаходяться на одному структурному, або ієрархічному рівні. Ці зв'язки полягають у сумісній роботі частин, яка в сукупності забезпечує функціонування системи. Субординаційні зв'язки - це

зв'язки, що здійснюються на різних структурних рівнях і мають характер підпорядкованості. При субординаційних зв'язках складова частина системи повністю або частково підпорядкована іншій частині, що знаходиться на більш високому структурному рівні.

Розглянуту предметну форму опису системи ми будемо називати морфологічним описом системи.

Функціональна форма опису системи (функціональний аналіз)

Під функціями розуміють прояви властивостей будь-якого об'єкта в даній системі відношень. Функціональний аналіз дозволяє вивчити роботу системи в цілому, враховуючи її призначення, склад, структуру, взаємодію частин, зрозуміти процеси, що відбуваються в системі, і взаємодію системи з навколишнім середовищем. Розрізняють дві форми функціонального аналізу, а саме: розкриття внутрішнього і зовнішнього функціонування системи.

Вивчення внутрішнього функціонування полягає у виконанні аналізу основних процесів, що відбуваються у системі, їх взаємної узгодженості між собою та цілями системи. У функціональному описі відображають:

- призначення складових частин;
- роль кожної складової частини;
- взаємозв'язок між частинами;
- процеси, зумовлені зв'язками між частинами;
- можливі стани й режими;
- здатність до дії;
- порядок виконання дій;
- обов'язки підрозділів в організаційній системі;
- шляхи передачі команд управління;
- взаємозв'язок результатів дій одних частин від дій інших частин;
- взаємозв'язок дій частин з цілями системи.

Зовнішнє функціонування досліджується з метою виявлення способів пристосування системи для існування в оточуючому середовищі, адаптивної та адаптуючої активності системи. Під адаптивною активністю розуміють здатність системи змінюватися відповідно до змін зовнішнього середовища, пристосовуватися до цих змін. При описі адаптивної активності відображають механізми, властиві системі для пристосування до умов навколишнього середовища. Тут відображають можливі умови навколишнього середовища і механізми системи, що зумовлюють реакцію на ці зміни.

Адаптуюча активність полягає у здатності системи змінювати навколишнє середовище, пристосовувати його до своїх потреб. Тут описують механізми, за допомогою яких система може змінювати й перетворювати навколишнє середовище.

Підсумовуючи матеріал цього розділу, форми опису систем можна зобразити як показано на рис. 8:

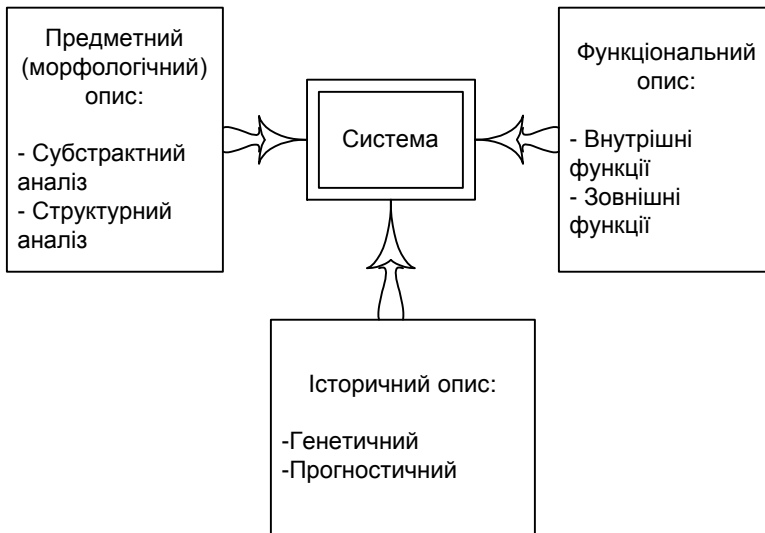


Рис. 8 - Форми опису систем

Контрольні запитання

1. Що розуміють під поняттям “формалізовані процедури системного аналізу”?
2. Які етапи вирішення проблеми пропонує системний аналіз?
3. Яке значення мають неформалізовані процедури в системному аналізі?
4. Якими знаннями повинен володіти системний аналітик для успішного вирішення завдань аналізу систем?
5. Які проблеми виникають при формулюванні цілей системи?
6. Які вимоги висуваються для формулювання цілей системи?
7. Чи потрібно в цілях системи відображати її особливості, відмінність від інших близьких за призначенням систем?
8. Що розуміють під поняттям “точка зору”?
9. З якої точки зору потрібно розглядати систему?

10. Що включає у себе визначення контексту розгляду теми?
11. У чому відмінність формулювання цілей в системному аналізі порівняно з іншими науковими дисциплінами?
12. Які форми опису систем використовує системний аналіз?
13. Що означає термін “Опис системи на вербальному рівні”?
14. Які різновидності історичного опису систем Ви знаєте?
15. Що являє собою генетичний опис системи?
16. Для яких цілей служить прогностичний аналіз системи?
17. Які види аналізу включає морфологічний опис?
18. Які питання вивчає субстрактний аналіз?
19. Які завдання структурного аналізу?
20. Що розуміють під ступенем складності системи? У чому полягає адаптивна діяльність системи?
21. Проаналізуйте, в чому може полягати адаптуюча діяльність такої системи, як торговельна фірма?
22. Які питання слід відобразити при функціональному описі системи?
23. Що розуміють під поняттями зовнішнє й внутрішнє функціонування системи?

Розділ 5. Моделювання у системному аналізі

1. Визначення моделі

Системний аналіз, як ми це відзначили в попередніх розділах, - 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. Вирішення проблеми розпочинається з вивчення системи. Результатом попереднього вивчення є опис системи на вербальному рівні. В описі системи знання певним чином впорядковуються. Сам опис повинен бути всебічним, систему ми повинні розглянути з різних сторін: історичної, морфологічної і функціональної. Наступним етапом системного аналізу є побудова моделей системи, в яких здобуті знання об'єднуються, структуруються, поглиблюються. Модель системи, чи сукупність моделей, служить інструментом розуміння і вивчення системи, засобом подачі знань про систему і їх збереження. 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. Модель може бути як фізична, предметна, так і формальна, логічна. Серед формальних моделей особливо виділяють математичні моделі. Математична модель з'являється тоді, коли в системі виділені кількісні властивості і встановлені співвідношення між ними. 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. Говорячи про рівень абстракції, ми будемо розуміти, в якому відношенні виділені властивості і зв'язки є загальними, відносяться до переважної кількості об'єктів дійсності. Абстракція є універсальним засобом пізнання навколишнього світу. Кожна модель – це певна абстракція, в якій виділені суттєві з точки зору завдань вивчення сторони об'єкта і його взаємозв'язки. Слід зауважити, що мова абстракції в своїх розвинутих формах мало що говорить не обізнаному в цьому, але є потужним засобом пізнання для тих, хто володіє нею.

Моделі створюються у процесі моделювання.

Моделювання – це непрямий, опосереднений метод наукового дослідження об'єктів пізнання, безпосереднє вивчення яких з певних причин неможливе, недоцільне чи ускладнене шляхом дослідження моделі.

Моделювання – одна з головних категорій теорії пізнання. На ідеї моделі ґрунтується всякий метод 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.

Більш строгі визначення вміщені в енциклопедичному словнику:

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.

Ще одне визначення, найбільш абстрактне й формалізоване, наведено в [1]:

M є моделлю O , якщо за допомогою M можна одержати відповідь відносно O з точністю до \mathcal{E} .

У теорії пізнання моделювання розглядається як основний метод пізнання навколишнього світу. Цей світ ми пізнаємо у вигляді певних моделей і всі наші знання відображаються тільки в моделях навколишнього світу. Вся наша діяльність також заснована на моделях. Перед всякою дією ми будуємо в своїй свідомості чи безпосередньо створюємо певну модель і тільки тоді діємо залежно від ситуації.

Важливою особливістю моделей є те, що модель є не тільки засобом пізнання нового, а в моделях сконцентровані, відображені всі наші знання. Знання не можуть бути поданими інакше як за допомогою моделей.

Модель завжди подібна до об'єкта моделювання. Вона може бути ізоморфна або гомоморфна об'єкту [3]. Ізоморфна модель - це коли існує взаємно однозначна відповідність між елементами і зв'язками моделі та об'єкта. Гомоморфна модель – коли відповідність однозначна лише в одному з аспектів.

Процес моделювання включає такі етапи:

- постановку проблеми,
- побудову або вибір моделі,
- дослідження моделі,
- екстраполяцію результатів дослідження на оригінал.

2. Цілі моделювання. Класифікація моделей за ціллю моделювання

Розглянемо більш детально визначення моделі. Перш за все моделювання завжди є стороною ціленаправленої діяльності. У наведених визначеннях моделі відображається цільовий характер моделювання. Всяка діяльність людини завжди має певну ціль, є цілеспрямованою. Робота спрямована на виготовлення певного продукту, відпочинок - на досягнення певного фізичного та морального стану, навчання – на одержання знань, здобуття професії. Успіх діяльності залежить від того, наскільки чітко ми уявляємо, яким повинен бути її результат, від образу бажаного результату. Цей образ результату діяльності є певною моделлю, яка служить орієнтиром, ціллю, до якої ми прагнемо. Це завжди так, хоча ми не завжди це чітко усвідомлюємо. Всі дитячі іграшки – це моделі, за допомогою яких дитина пізнає світ. Ціль їх використання – підготовка підростаючої людини до життя у складному світі. Дії первісних людей, обряди перед полюванням на звіра, їх танці були обумовлені певними уявленнями, моделями світу, силами, що зумовлюють успішність полювання. Танці, кидання списа в зображення звіра, ритуальні обряди - це певні моделі полювання, в яких засвоювались необхідні навички, здійснювалась моральна та фізична підготовка.

Розглянемо, що може бути моделлю і як це пов'язане з ціллю моделювання? Згадаємо, що для дитини палка може бути моделлю коня, шаблі тощо. Дерев'яна колода для туриста може служити як стіл, крісло, молоток і як паливо для вогнища. Скала чи дерево для первісної людини були моделями звіра, використовуючи їх, вона навчалася влучно кидати списа. Задаємося питанням, наприклад, чи може гудзик бути моделлю тролейбуса? Як правило, на це питання відповідають негативно. Звичайно, яке відношення гудзик має до тролейбуса? Але розглянемо задачу вивчення руху тролейбусів по маршруту, наприклад, на карті міста чи схемі маршруту. В такому випадку є всі підстави в якості моделі тролейбуса взяти гудзик. Отже, перш за все, модель є не просто заміником оригіналу, а його цільовим відбитком, і якою є

модель залежить від цілей моделювання. Залежно від цілей моделями можуть бути найрізноманітніші предмети.

З того, що модель є відбитком об'єкта, залежним від цілей моделювання, випливає:

- по-перше, що моделей одного і того ж об'єкта може бути велика кількість,
- по-друге, що один і той же предмет може бути моделлю різних об'єктів.

Цільова направленість дозволяє класифікувати моделі по цілі моделювання. Найбільш загальний поділ за ціллю моделювання це поділ на пізнавальні та прагматичні моделі.

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

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

Прикладів пізнавальних моделей безліч. Це 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, тягових підстанцій, наукові теорії, моделі атома, всесвіту і т. п.

Прагматичні моделі не менш розповсюджені, ми з ними зустрічаємось кожен день. Реклама зачісок, одяжі, взуття - це прагматичні моделі, призначені для того, щоб їм 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 розмірів різьби болта та гайки, стандарти тролейбуса, автомобіля - це також прагматичні моделі, які служать цілям забезпечення виробництва та експлуатації технічних засобів. Прагматичні моделі – це також збірки законів, правил що регламентують поведінку людей.

При порівнянні вказаних двох типів моделей головна різниця між ними полягає у співвідношенні моделі і дійсності, моделі і об'єкта моделювання. Це співвідношення проявляється в тому, як поступають, коли модель не відповідає дійсності. Пізнавальні й прагматичні моделі відрізняються своїм співвідношенням моделі та об'єкта моделювання. Схематично співвідношення об'єкта і моделі для пізнавальних та прагматичних моделей показано на рис.9.

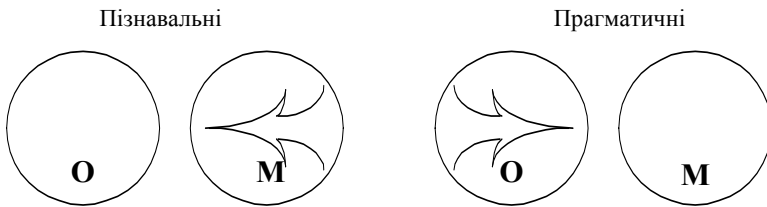


Рис. 9 - Співвідношення між об'єктом моделювання і моделлю у пізнавальних та прагматичних моделях (тут позначено **О** - об'єкт моделювання, **М** - модель)

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. Розглянемо кілька прикладів. Пізнавальною моделлю будови світу в Середні віки була геоцентрична модель, або модель Птолемея (Птолемеєва система світу, що знайшла завершення у працях древньогрецького астронома Птолемея, являє собою геоцентричну систему, в центрі якої знаходилась Земля, навколо Землі розміщувалися 7 кришталевих сфер, на кожній з яких розміщувалися планети та Сонце і рухались разом зі сферами, а також по поверхні сфер за певними циклами. За сферами місце для богів, які керували світом). Коли наука довела невідповідність такої моделі об'єкту моделювання, неадекватність її для пояснення астрономічних явищ, то модель була замінена геліоцентричною моделлю сонячної системи Коперніка, в центрі якої знаходиться Сонце, а планети, в тому числі Земля, рухаються навколо нього.

Інший приклад - планетарна модель атома, створена Резерфордом: атом містить ядро, навколо якого по еліптичних орбітах рухаються електрони. Після відкриття законів квантової механіки вона була замінена моделлю, в якій електронам відповідає певна електронна хмаринка, розподілена в просторі навколо ядра атома. Таких прикладів можна навести багато. Важливо підкреслити, що для вказаного типу моделей, а саме, для пізнавальних моделей, у разі невідповідності моделі дійсності модель змінюється.

Зовсім інше співвідношення між об'єктом і дійсністю для прагматичних моделей. У випадку, коли прагматична модель не відповідає об'єкту, виникає необхідність зміни об'єкта моделювання, а не моделі. Наприклад, якщо тролейбус, який розробляє конструктор, або вигото-

вляється на заводі, за певними параметрами не відповідає стандарту, то змінюється конструкція тролейбуса, тобто об'єкт моделювання - тролейбус приводиться у відповідність до прагматичної моделі, а саме до стандарту.

Можна навести ще ряд прикладів. Якщо студент зобразить схему електричного кола з порушеннями правил ЄСКД, то викладач примусить його переробити схему. Якщо, наприклад, наша зачіска не відповідає певній нормі, певному зразку, моделі, то ми йдемо у перукарню і змінюємо зачіску, а прагматична модель, до якої ми прагнули, залишається незмінною. При порушенні законів суспільства, особа, яка їх порушила, карається відповідно до того ж закону. Отже, ми бачимо, що в прагматичних моделях, якщо об'єкт не відповідає моделі, то змінюють об'єкт моделювання, а сама модель залишається незмінною.

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.

3. Засоби побудови моделей. Класифікація моделей за матеріалом, з якого побудована модель

При вивченні попереднього матеріалу виникає запитання, що ж таке конкретна модель, з чого вона може бути створена? Зрозуміло, що, наприклад, моделлю сонячної системи може бути певне масивне тіло, чи лампочка, яка грає роль Сонця, навколо якої на певних орбітах розташовані планети. Модель літака може бути створена з певного матеріалу так само, як і модель споруди, яку бажано збудувати. Але модель сонячної системи існує також у вигляді опису в науковій літературі, вона є у нашій свідомості незалежно від того, створили ми її з матеріальних об'єктів чи ні. Так само модель літака чи модель споруди можуть бути подані у вигляді креслень.

При вивченні багатьох явищ використовується моделювання за допомогою обчислювальних машин (ЕОМ). Що ж являє собою така модель? Це введені в машину дані, певні правила роботи з цими даними, закономірності, записані у вигляді програми обробки даних, певних рівнянь, які зберігаються в пам'яті ЕОМ. Тут ми бачимо, що хоча носієм моделі є матеріальний об'єкт, а саме ЕОМ, фактично моделлю є програма, яка зберігається в пам'яті ЕОМ. Програма - це є ідеальний образ, образ, створений свідомістю. Цей образ може бути описаний

певними термінами і зберігатися на певному носії інформації, в пам'яті комп'ютера або книзі. Виникає питання, що вважати моделлю, чи потрібно вважати моделлю тільки матеріальний об'єкт, чи моделлю може бути система, побудована засобами свідомості, нематеріальним об'єктом? З приведеного прикладу ми бачимо, що до моделей відносять не тільки матеріальні об'єкти, а й об'єкти свідомості, певні образи, створені свідомістю.

У визначенні моделі вказано, що модель – це реальний чи уявний об'єкт. Отже, залежно від того, з чого створені моделі, їх слід поділяти на

- матеріальні (реальні),
- ідеальні (уявні, продукти свідомості).

Матеріальні моделі - це матеріальні об'єкти, які у певному відношенні замінюють об'єкт моделювання. Для того, щоб даний матеріальний об'єкт чи конструкція могли бути моделлю, необхідно, щоб вони відповідали декільком умовам:

- по-перше, відповідали цільовому призначенню моделі;
- по-друге, замінювали оригінал, давали відповіді відносно оригіналу з потрібною точністю.

Для цього повинно бути встановлене певне співвідношення подібності між об'єктом моделювання і моделлю. Існує декілька способів встановлення такого співвідношення. Розглянемо три типи співвідношення подібності:

- пряма подібність;
- опосереднена подібність;
- умовна подібність.

Найпростіше пряме співвідношення подібності - це моделі, створені на основі фізичної подібності. Моделі створюються такими ж як об'єкти, подібні до них. Наприклад, модель літака, макет будівлі чи промислової конструкції, макет гідроспороди, дитяча іграшка, лялька, викройка тощо. Тут можлива повна відповідність, наприклад, копії картин, голограми, протези, або часткова, коли співпадають деякі деталі. Модель може бути побудована у зменшеному, або збільшеному масштабі реального об'єкта. Вона може відрізнитися розмірами, матеріалом, з якого виготовляється. Але яка б добра не була модель, вона є тільки заміником об'єкта, виконує роль його тільки в певних умовах. При матеріальному моделюванні на основі прямої подібності виникає проблема перенесення результатів моделювання з моделі на оригінал. У технічних науках для цього використовують принципи подібності. Вирішенню практичних задач за допомогою моделювання допомагає спеціальна наукова дисципліна – теорія подібності.

Опосереднена подібність – це подібність, заснована на єдності законів природи, на існуючій у природі аналогії між різними явищами. Моделі створюють не на основі механічного відтворення, а на основі об’єктивно існуючої єдності явищ природи. Розглянемо кілька прикладів. Коливання в електричному колі і механічні коливання описуються однаковими рівняннями. Тому електричні явища можна вивчати на механічних моделях, а коливання складних механічних систем краще вивчати за допомогою електричних кіл. Для вивчення коливань складної механічної споруди за певними законами будують електричну модель. У різні місця схеми подають синусоїдальні чи інші коливання напруги (або струму) і, вимірюючи осцилографом характер зміни напруги, вивчають, як буде вести себе споруда при різних навантаженнях.

Для вивчення поведінки складних гідротехнічних споруд під дією тиску води можна побудувати модель споруди за допомогою електропровідного паперу. Такий метод моделювання широко використовується в гідродинаміці. За допомогою моделі, побудованої з електропровідних матеріалів вивчають поведінку гідроспоруд. Електричні потенціали у різних точках відображають розподіл сили води тиску на споруду. Такий метод моделювання можливий тому, що закони розподілу електричних потенціалів і тиску води однакові, описуються одними й тими ж рівняннями.

У теорії пружності при вивченні міцності різних деталей машин, розподілу в них внутрішніх напружень використовують оптичні моделі. Якщо з певного оптичного матеріалу виготовити модель деталі і потім її навантажити, то залежно від величини напружень у різних місцях моделі вона по різному буде змінювати кут поляризації світла. Розглядаючи таку деталь за допомогою оптичних приладів, можна з досить великою точністю встановити розподіл внутрішніх навантажень, визначити найбільш слабкі місця деталі і змінити її форму так, щоб вона працювала більш надійно.

У наш час на моделях опосередненої подібності вивчають явища в соціальній сфері, складні соціальні і економічні процеси. Вивчення закономірностей транспортних потоків у науковій дисципліні “Організація руху” ведуть на моделях, побудованих на основі опосередненої подібності. Тут важливу роль відіграє математика, диференціальні рівняння та інші її розділи. Математика якраз і допомагає встановити єдність законів світу і обґрунтувати використання опосередненої подібності.

Умовна подібність – використовується там, де не можна встановити ні прямої ні опосередненої подібності. Тут подібність встанов-

люють на основі певних правил, домовленостей. Прикладом моделі з умовною подібністю можуть бути гроші як міра вартості. Ми постійно користуємось грошовою системою, подекуди не задумуючись, що це є тільки модель вартості, її замітник, який діє тільки завдяки певній умовності, прийнятій в одній чи декількох країнах.

Креслення - також приклад моделі з умовною подібністю, ми їх розглядаємо як модель конструкції. Аналогічно і електрична схема – це модель електричного кола, що є моделлю тільки завдяки певній домовленості, умовній подібності.

Моделями умовної подібності є також різні сигнали, що передаються тими чи іншими каналами і відображають певні події.

Розглянуті моделі діють в умовах домовленості. Наприклад, грошові одиниці одних країн можуть не прийматися в інших, якщо між країнами немає домовленості. Електричну схему не розуміє людина, яка не вивчала електротехніки, не знає умовних позначень. Сигнали, прийняті в мореплаванні, в залізничному транспорті не зрозуміє той, хто не знає правил їх використання, їх змісту. З моделями умовної домовленості доводиться мати справу досить часто. Ці моделі існують тільки завдяки домовленостям, які виступають як сукупність правил і діють у границях установлених правил.

Ідеальні моделі – це моделі, що являють собою ідеальні конструкції, побудовані засобами мислення, свідомості. До них відносяться мова, мовні конструкції, художні твори, наукові теорії, гіпотези, алгоритми діяльності тощо. Особливу роль серед них займає мова. Вона є головним засобом побудови ідеальних моделей. Мова - це перш за все засіб спілкування. У той же час вона є і засобом мислення. У психології мову вважають другою сигнальною системою людини. Самі поняття нашої мови вже є моделями дійсності. Наприклад, слово дерево - це певна модель. Говорячи „дерево”, ми розуміємо об’єкт, який має стовбур, коріння, листя. “яблуня” - це певний вид дерева, який має свої особливості і відрізняється від інших дерев. Слова “йти”, “бігти” – це моделі певної діяльності, що має свої ознаки.

Мова – це універсальний засіб побудови моделей. Універсальність мови, як засобу побудови моделей, полягає перш за все в тому, що окремі поняття мови є певними моделями світу. Крім цього, мова допускає ієрархічну побудову моделей, а саме: слово, речення, текст. Моделлю об’єкта може бути одне слово, як це показано вище. У випадку, коли для побудови моделі одного слова недостатньо, застосовують речення. За допомогою речення визначаються більш складні моделі. Моделлю певної системи може бути не одне речення, а цілий текст, побудований з речень. Наприклад, для опису сучасного уявлен-

ня про сонячну систему, моделі сонячної системи вже необхідний цілий текст досить великого обсягу.

Універсальність мови, як засобу побудови моделей, зумовлена ще й тим, що поняття чи мовні конструкції мають неоднозначний, розпливчастий характер. Це дозволяє охопити одним поняттям цілий ряд предметів або явищ, змоделювати їх. Неоднозначність мовних понять корисна, вона закріпилась у мові віками. Ця розпливчастість, неоднозначність дозволяє будувати моделі найбільш універсального характеру, дозволяє абстрагуватися від деяких несуттєвих властивостей об'єктів.

У випадках, коли розпливчастість понять буденної мови стає на заваді, коли треба чітко визначити предмет моделювання, виникають спеціальні мови, що мають більш чіткий, однозначний характер. Це мови наукових дисциплін: математики, медицини, біології, фізики. Основою таких мов є чітко визначені поняття. Кожна наукова дисципліна має свої поняття, з якими вона оперує. Наукові поняття - найбільш чіткі, конкретизовані визначення предметів вивчення та їх відношень. Знання всякої науки ґрунтується на понятійному апараті. Наприклад, знання системного аналізу ґрунтується на поняттях системи, метасистеми, елемента системи, структури системи, моделі, об'єкта моделювання, навколишнього середовища тощо. Найбільш чіткими, однозначними поняттями і співвідношеннями між ними оперує математика. Математика це також мова. Це одна з мов, за допомогою якої ми спілкуємося з природою. Як не дивно, але природа дає нам відповіді, зрозумілі на мові математики. Тому дуже часто знання математики означає розуміння природи. Еммануїл Кант відзначав, що в кожному пізнанні стільки науки, скільки в ньому математики. Всі наукові дисципліни, які досягли високого рівня розвитку, оперують математичними поняттями та співвідношеннями.

Ідеальні моделі можна поділити на семантичні (знакові) та інтуїтивні, на аналітичні й імітаційні.

Семантичні моделі - це знакові моделі, в яких встановлено певні знаки та співвідношення між ними і які записуються та зберігаються у вигляді сукупності знаків. Розрізняють математичні, логічні й графічні семантичні моделі. Розділити їх не завжди можливо, оскільки у кожній семантичній моделі певним чином переплітаються окремі елементи. Деколи говорять про логіко-математичні моделі, що поділяють на аналітичні й імітаційні. Аналітичні моделі – це моделі, призначені для аналізу, імітаційні - для відтворення певних процесів, явищ.

Інтуїтивні моделі – це моделі, що будуються на вербальному (описовому) рівні. Вони мають характер гіпотез, розуміння загальних

характеристик розвитку об'єктів. При створенні їх важливу роль відіграє підсвідомість.

Аналітичні й імітаційні моделі вказують на призначення моделі, як модель використовується у процесі пізнання.

Аналітичні моделі - це моделі, призначені для вивчення систем теоретичними методами, засобами алгебри, математики.

Імітаційні моделі – це моделі, що служать для точного чи дещо видозміненого відтворення певних систем, процесів, явищ.

4. Матеріалістичне і ідеалістичне розуміння світу

Розгляд властивостей моделей - одне з головних питань теорії пізнання. Він має велике значення в системному аналізі. Основою останнього є побудова моделей систем. Всі наші знання про навколишній світ відображаються у моделях. Тому виникає запитання, в якій мірі наші моделі вірні, тобто наскільки знання, представлені у вигляді моделей, вірно відображають навколишній світ? Відповіді на це запитання можна об'єднати в два напрямки: матеріалістичний та ідеалістичний, тобто дати з двох точок зору, а саме:

Матеріалістична – світ матеріальний і матерія існує незалежно від нашої свідомості. Матерія первинна, ніким не створена, існує вічно. Свідомість, мислення - це властивість матерії.

Ідеалістична – первинним є дух, свідомість, мислення, а матерія, природа вторинна, це продукт свідомості. Згадайте у Біблії: “Першим було слово ...”.

Одним з напрямків ідеалістичної точки зору є агностицизм, який заперечує можливість пізнання світу, на зразок: світ є річ у собі, яку неможливо пізнати. У нашій свідомості він тільки відображається через відчуття. Відчуття - це відбиток, тіні навколишнього світу, ми можемо пізнавати тільки їх, але це ні в якій мірі не навколишній світ.

Ми стоїмо на матеріалістичній точці зору. Світ існує поза нашою свідомістю. Ми його пізнаємо в результаті нашої діяльності. Наші знання ми відображаємо у моделях навколишнього світу. Знання мають суб'єктивний характер, оскільки вони створені людьми, суб'єктами. Але вони мають і об'єктивний характер, оскільки правильно відображають світ. Об'єктивний характер знань виявляється на практиці, критерієм об'єктивності є практична діяльність, її результати. Знання постійно уточнюються, поглиблюються, наближаються до об'єктивної дійсності. Критерієм вірності знань є практична діяльність. Якщо знання підтверджуються на практиці, то вони вірні. Тобто

практична діяльність є, з одного боку, джерелом знань, з іншого – критерієм їх вірності.

5. Властивості моделей

Розглядаючи властивості моделей з матеріалістичної точки зору в першу чергу відзначимо найбільш важливі, а саме:

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

Обмеженість моделей зумовлена обмеженістю ресурсів (матеріальних, енергетичних, інформаційних, часових), які ми використовуємо при створенні моделей. Всякий об'єкт існує у просторі й часі. Він має нескінченне число відношень з іншими об'єктами. При створенні моделі ми враховуємо тільки певне число відношень об'єкта, створюємо модель обмеженою у просторі, маємо обмежений час для моделювання. Тому моделі завжди обмежені. Якщо так, то виникає питання, чи можна пізнати безмежний об'єкт обмеженими методами. Відповідь на це запитання дає практичний досвід людства. Так, обмеженими засобами, використовуючи моделі, побудовані цими засобами, можна пізнати навколишній світ. Ці моделі правильно відображають безмежний світ. Проте знання про світ є відносні, на кожному етапі пізнання вони у певній мірі відповідають дійсності. Ми прагнемо до абсолютного знання, постійно наближаємось до нього, пізнаючи світ все більш повно, точно і детально. Процес пізнання світу, пізнання абсолютної істини безмежний. Н.Вінер відмічав, що обмежені моделі при всіх їх недоліках – це єдиний вироблений людством спосіб розуміння світу.

Іншою властивістю моделі є її спрощеність. Спрощеність моделі впливає з її обмеженості. Раз модель створена обмеженими засобами, то вона повинна бути спрощена. Здавалося, що спрощеність моделі повинна приводити до її невірності, невідповідності дійсності. Але парадоксом є те, що вірними є найбільш прості моделі. Для конкретних цілей моделювання спрощеність не тільки допускається, але і є необхідною. Тут є один загадковий момент: чомусь з двох моделей, що описують явище чи об'єкт, ближче до дійсності завжди знаходиться найбільш проста модель. Самий яскравий приклад - геліоцентрична система, яка замінила геоцентричну. Ньютон писав, що природа проста, не має надлишку причин. Простота – печатка істини.

Світом правлять прості закони, які виражаються у простих моделях. Наприклад, закономірності руху всякого тіла виражені в обме-

женій кількості понять: маса, сила, прискорення, швидкість та взаємозв'язку між ними. Цей взаємозв'язок установлюють закони Ньютона. Вони надзвичайно точно описують рух тіл на землі і рух космічних об'єктів. Звичайно, уточненням їх є рівняння теорії відносності, які діють при швидкостях, близьких до швидкості світла, і рівняння квантової механіки справедливі для тіл з надзвичайно малою масою. Всі закони фізики, які регулюють процеси на землі і у всесвіті, в тілах субатомних розмірів і тілах космічних розмірів на рівні галактики і метagalактики, можуть бути записані на одному аркуші паперу, це приблизно 20 рівнянь.

Отже, спрощеність моделі - не тільки недолік, а часто й перевага моделі. Спрощена модель виділяє головне, зосереджує увагу на ньому, відкидає все другорядне, несуттєве. У багатьох визначеннях моделі підкреслюється, що всяка модель є спрощеною.

Крім властивостей обмеженості і спрощеності моделей особливе значення мають адекватність та її вірність.

Адекватність – це вірне відображення зв'язків та співвідношень навколишнього світу (від лат. *adaequatus* – рівний, прирівняний).

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

Адекватна модель - це модель, яка правильно відображає суттєві властивості і відношення предметів та явищ навколишнього світу. Адекватною вважається модель, яка не взагалі в повній мірі відповідає об'єкту, а в тій мірі, що приводить до потрібної цілі, дозволяє одержати потрібні на практиці результати.

Вірність моделі – поняття не тотожне адекватності. Вірність поняття більш загальне, філософське означає, що модель повністю відповідає дійсності. Судити про вірність моделі ми не завжди можемо і користуємось більш вузьким і точним поняттям, а саме поняттям адекватності. Адекватна модель - це модель яка дає однозначні вірні відповіді на поставлені питання. Наприклад, невірна з нашої сучасної точки зору Птолемеєва геліоцентрична модель світу (див. розд. 5.3) дозволяла з високою точністю передбачати астрономічні явища, розраховувати момент затемнення Сонця, Місяця, настання періоду розлиття річки Ніл і т.п. Вона тривалий час задовольняла потребам науки, тобто була адекватним описом астрономічних явищ, виходячи з вимог, які ставила практика того часу. Для сучасної науки, вирішення проблеми запуску супутників, розвитку космонавтики ця модель не адекватна, оскільки за її допомогою розрахувати рух цих космічних об'єктів неможливо.

Ще приклади. У фізиці XIX ст. досить поширеною була теорія теплороду. Вона пояснювала теплові явища передачею спеціальної невагомої речовини – теплороду. Протягом багатьох років ця модель давала адекватну відповідь на протікання теплових явищ, тобто була адекватною моделлю, хоча за свою суттю була невірною. Далі, корпускулярна і хвильова теорії світла. Окремо взяті вони також невірні, але кожна з них дає правильну відповідь на питання практики при вирішенні певних задач різного змісту, тобто були і залишаються адекватними моделями при вирішенні цілого кола завдань.

Вірність (істинність) моделі - питання досить глибоке і знаходить відображення у філософії. Оскільки між моделлю і об'єктом завжди є різниця, то виникає питання про вірність наших знань, що сконцентровані в моделях світу. Чи ця різниця є такою, що її неможливо усунути, чи можна подібність моделі до об'єкта весь час збільшувати. У філософії - це питання доступності абсолютної істини суб'єктивному пізнанню. Діалектичний матеріалізм стверджує, що людське пізнання - це відносна істина. Але вона завжди може бути скільки завгодно близько наближеною до абсолютної істини.

Розглядаючи властивості моделей, ще раз звернемо увагу на співвідношення вірного й невірного в моделі. Крім істинного, вірного в моделі завжди є дещо невірне, дещо таке, що не відповідає об'єкту моделювання. Співвідношення вірного і невірного по-різному виявляється в пізнавальних і прагматичних моделях. Якщо для прагматичної моделі невірне згубне для моделі, призводить до відмови від моделі, то в пізнавальних моделях це один із стимулів прогресу, можливість відірватися від деяких фактів, які часом не відіграють суттєвої ролі. В пізнавальних моделях важливе значення мають гіпотези. Ейнштейн сказав: “Уява важливіша від знань, бо знання обмежені, а уява охоплює весь світ і є джерелом знань”. Але це не означає, що не потрібно вчитися, бо тільки знання дають критерій, що вірне, а що невірне, де шукати істини. Той же Ейнштейн говорив: “Не намагайтесь недостатність знань компенсувати навіть найсильнішою уявою”.

Звідси видно, що кожна модель має свої границі істинності. Однією з небезпек моделювання є використання моделей без перевірки умов і границь, при яких забезпечується адекватність моделі. На жаль, на практиці ми з цим зустрічаємось набагато частіше, ніж вважаємо. Інколи ми просто не задумуємося над таким питанням і дивуємося, коли одержані результати суперечать дійсності.

6. Умови реалізації властивостей моделі

Для того, щоб модель відповідала своєму призначенню, щоб вона виконувала свої функції, недостатньо створити нову модель чи взяти готову, необхідно, щоб існували умови, які забезпечують реалізацію властивостей моделі. Це стосується не тільки моделей створених на основі умовної подібності, але і всіх моделей взагалі.

Зрозуміло, що моделі, створені на основі умовної подібності, реалізують свої властивості тільки в умовах домовленості. Грошові знаки виконують свої функції тільки за умов державних гарантій. Звичайна мова, її слова, тексти зрозумілі тільки в певному мовному оточенні. Програми написані на одній з мов програмування не працюють, коли в комп'ютері немає транслятора з цієї мови програмування.

Необхідність існування умов реалізації властивостей моделей відноситься також до моделей, створених на основі прямої і опосередкованої подібності. Модель літака, створена для вивчення аеродинаміки руху, тобто поведінки під час польоту, дійсна тільки при наявності спеціального приладу – аеродинамічної труби. Модель гідроспоруди створена з електропровідного матеріалу для вивчення розподілу тиску води дійсна, коли є необхідні джерела електричної напруги, вимірювальні прилади і люди, які розуміють і можуть проаналізувати дані вимірювань. Аналогічно і для інших моделей.

Необхідність певних умов для реалізації властивостей моделей можна продемонструвати і на історичних фактах. Старовинні єгипетські ієрогліфи відомі з древніх часів не одну сотню років. Але прочитати їх зміст змогли тільки після відкриття знаменитого Розетського каменя, тобто тоді, коли були створені певні умови для розуміння тексту.

В історії відомі відкриття, що значно обігнали час і не знайшли своєї реалізації. Вертоліт, який розробив Леонардо Да-Вінчі, був реалізований тільки в XIX ст. Кібернетика Трентовського, розроблена у 1848 р., знайшла втілення тільки через 100 років. Обчислювальна машина Беббіджа (1883 р) знайшла втілення тільки після розвитку електроніки.

Будь-яка революційна наукова теорія, як правило, не знаходить підтримки в старому оточенні. Геліоцентрична система будови світу, створена Коперніком, була відкинута. Інквізиція заставила Коперніка відмовитись від створеної теорії. Джордано Бруно значно пізніше підтримував вірність геоцентричної системи будови світу Коперніка і був спалений інквізицією. Причина тут не тільки в реакційності інквізиції, а також в тому, що існуюча тоді система Птолемея була надзвичайно

точна і давала відповіді на всі запитання, поставлені практикою, що правда з деякими поправками, які характерні для усякої теорії. Приклади зовсім недалекого минулого - генетика і кібернетика. В Радянському Союзі їх вважали псевдонауками.

З необхідністю певних умов для реалізації властивостей моделей ми зустрічаємось також в політичному і економічному житті. Для прискорення розвитку України неодноразово пропонувалися моделі передових країн, проте вони не привели до бажаного результату. Економічні моделі розвитку передових ринкових країн не діють в умовах недостатньо розвинутих країн. На жаль, з цим треба миритися і шукати такі моделі розвитку, які працюють в даних умовах.

Як приклади можна вказати на те, що моделі поведінки людей мусульманського світу не знаходять розуміння в християнському оточенні. Сучасні технології не змогли б бути втілені в недостатньо розвинутому суспільстві. Ці приклади показують, що для реалізації властивостей моделі необхідна узгодженість її з середовищем. Всяка модель повинна бути узгоджена з середовищем, в якому вона створена і функціонує. Між середовищем і моделлю повинні бути певні вузли стикування (інтерфейси), які зв'язують їх. Для існування моделі в зовнішньому середовищі повинні бути створені підсистеми, інші моделі, алгоритми, що забезпечують існування моделі. Тобто не тільки модель має бути пристосована до середовища, але й саме середовище повинне забезпечувати можливість існування тієї чи іншої моделі, реалізацію її властивостей.

Вивчаючи умови існування моделі, ми звернули увагу на взаємовідношення моделі і навколишнього світу. Розглянемо також інші сторони моделі. Складовими частинами моделі є об'єкт моделювання, сама модель, суб'єкт моделювання і навколишнє середовище. „Модель” моделі можна зобразити таким чином:

Тут складовими частинами є сама модель, об'єкт моделювання, суб'єкт моделювання і середовище. Співвідношення між моделлю і середовищем ми вже розглянули. Суть його в тому, що будь-яка модель дійсна, виконує свої властивості тільки в певному середовищі, існує в певному середовищі. Наприклад, модель сонячної системи, теорія відносності в оточенні первісного суспільства існувати не могли. Моделі “килим – літак”, “чарівне дзеркало” у наш час втілені в життя - це літак, телевізор.

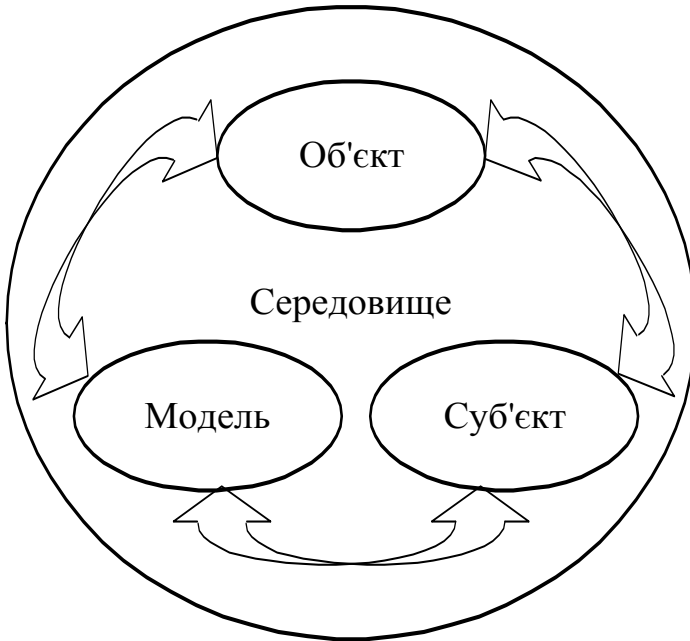


Рис. 10 - "Модель" моделі

Співвідношення між моделлю і об'єктом моделювання ми також в достатній мірі розглянули. Модель є певним, залежним від цілей моделювання відбитком об'єкта. Об'єкт переносить у модель свої властивості. Модель служить заміником об'єкта і виконує його функції в певних умовах, служить засобом пізнання об'єкта, засобом збереження та поглиблення знань про об'єкт.

Відповідність моделі і об'єкта моделювання встановлює певна особа, людина, група людей, наукова дисципліна, тобто певний суб'єкт. Без суб'єкта немає моделі. Суб'єкт моделювання будує модель залежно від цілей моделювання. Стрілкою на діаграмі показано взаємозв'язок моделі і суб'єкта моделювання. У процесі побудови моделі суб'єкт моделювання (той, хто створює модель) певним чином відображає властивості об'єкта в моделі. Співвідношення моделі і суб'єкта моделювання показано іншою стрілкою. Сама модель залежить від того, хто її побудував і з якою ціллю, в свою чергу, модель певним чином відображає властивості суб'єкта.

Все це разом знаходиться в певному середовищі, без якого модель не може існувати. Середовище показано колом, всередині якого знаходяться об'єкт моделювання, модель і суб'єкт моделювання.

Контрольні запитання

1. Що таке моделювання?
2. Яке значення моделювання має в системному аналізі?
3. Для чого служать пізнавальні моделі?
4. Для яких цілей служать прагматичні моделі?
5. У чому різниця між пізнавальними і прагматичними моделями?
6. Наведіть приклади пізнавальних моделей.
7. Наведіть приклади прагматичних моделей.
8. Яке співвідношення між об'єктом моделювання і моделлю для прагматичних моделей?
9. Як класифікують моделі залежно від цілей моделювання?
10. З чого можуть бути створені моделі?
11. Які моделі ми відносимо до ідеальних?
12. Які особливості нашої мови відображаються в ідеальних моделях?
13. Чи можна вважати моделлю слово “будинок”?
14. Дайте визначення моделі.
15. У чому полягає універсальність мови при побудові ідеальних моделей?
16. Які особливості наукових термінів як засобів побудови моделей?
17. Які типи співвідношень подібності матеріальних моделей?
18. У чому полягає опосереднена подібність?
19. Наведіть приклади моделей, побудованих на основі умовної подібності.
20. Для яких цілей використовується теорія подібності під час моделювання?
21. Що являють собою семантичні моделі?
22. Які моделі називають імітаційними, які їх особливості?
23. У чому полягає обмеженість моделі?
24. Чим зумовлена спрощеність моделі?
25. Чи можна вважати моделлю об'єкт, складніший від об'єкта моделювання?
26. Чи приводить спрощеність моделі до її невірності?
27. Як Ви розумієте поняття адекватності і вірності моделі?

28. Який термін слід вживати при характеристиці моделі: адекватність чи вірність?

29. У чому полягає матеріалістичний погляд на світ?

30. У чому полягає ідеалістичний погляд на світ?

31. Поясніть співвідношення моделі, об'єкта моделювання, суб'єкта моделювання і середовища.

32. Чи може бути досягнута абсолютна істина?

33. Наведіть приклади, коли середовище не дозволяє реалізувати можливості моделі.

Розділ 6. Моделі систем

1. Формальні і змістовні моделі

Побудову моделі системи ми розглядаємо як етап вирішення проблемної ситуації, етап вивчення системи. Існує багато моделей систем, які суттєво відрізняються одна від одної [1-5]. Розглянемо їх.

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 самого високого рівня абстракції відносяться моделі „Чорний ящик”, „Склад системи”, „Структура системи”, „Структурна схема”.

Змістовні моделі – це моделі, наповнені поняттями даної 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 на мові 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 цієї моделі, 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 ми знаємо обмежену кількість, а змістовних моделей може бути побудовано в необмеженій кількості. 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, точки зору та рівня знань того, хто будує модель. Якою буде побудована змістова модель залежить від цілей моделювання, складності системи, досвіду і знань аналітика та інших факторів. Успіхи вивчення систем і вирішення проблем системного аналізу значною мірою залежить від того, в якій мірі аналітик володіє набором формальних моделей і вміє їх інтерпретувати.

2. Модель типу „Чорний ящик”

Найпростіша формальна модель – це модель типу „Чорний ящик”. Вигляд її показано на рис. 11.

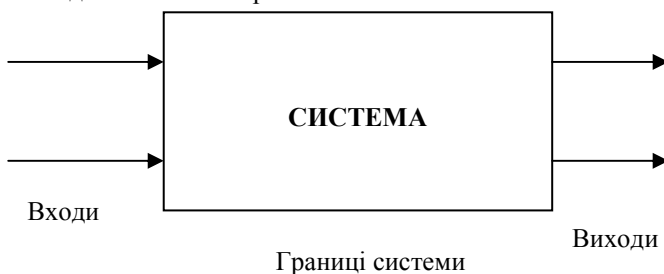


Рис. 11 - Модель типу “Чорний ящик”

Формальна модель типу “Чорний ящик” являє собою прямокутник, що означає систему. Він обмежений границями, стрілками зображено входи (вхідні величини) та виходи (вихідні величини) системи. 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 ми переходимо 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. Розглянемо приклади біології, медицини. 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”. Такі знання про ядро клітини, мітохондрії та інші форми клітини достатні для лікування багатьох захворювань. Для повсякденного життя знання багатьох систем на рівні “чорного ящика” буває достатнім і потреби в подальшому вивченні не виникає. Наприклад, візьмемо телевізор. Нам достатньо знати його входи, як і що потрібно подати, змінити, яку кнопку натиснути і який регулятор повернути і ми можемо вільно ним користуватися. Потреби подальшого вивчення його в більшості людей немає. Аналогічна ситуація з холодильником, пральною машиною та багатьма іншими приладами.

По-друге, деколи подання системи у вигляді “чорного ящика” є єдиним способом вивчення системи. Наприклад, 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 цілий ряд наукових дисциплін, які досягають значних практичних результатів.

Розглянемо питання побудови змістовної моделі системи типу “Чорний ящик”. Як було відзначено, 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 змі-

стовну модель системи “телевізор”, то ми як вхідні величини можемо розглядати електричний струм живлення телевізора і електромагнітні хвилі, що надходять на антену, а як вихідні величини – зображення, звук, їх характеристики. Щоправда, необхідно ще врахувати органи керування телевізора і наші дії при регулюванні його роботи. Отже, на перший погляд побудова змістовної моделі будь-якої системи по формальній моделі “Чорний ящик” досить проста. Проте за цією простою можуть приховуватися досить складні речі.

Перше запитання, що виникає при побудові змістовної моделі, визначення границь системи. Встановити їх не завжди просто, це залежить як від самої системи, так і від цілей моделювання, від точки зору моделювання та інших факторів. Наприклад, система “річка”. Тут ми вперше зустрічаємось з проблемою визначення границь системи. Де пролягає границя системи, де ми її визначимо, як це розглянуто в попередніх розділах, залежить від цілого ряду факторів.

Розглянемо ще кілька прикладів. Майже чітко означена система “Людина”. Але і тут виникають складності при визначенні границь. Одяг входить до даної системи чи ні? Людина без одягу? Вважаємо, що входить. Але одяг може висіти в шафі. Коли він стає системою “Людина”? А дощова накидка стає системою “людина”? А парасолька? Котлета, яку ми з’їдаємо за обідом, в який момент вона входить в систему „Людина”. Повітря, яке ми видихаємо, наше біополе, де воно закінчується? Вирішення цих питань значною мірою залежить від цілей моделювання, точки зору.

Система „Залізничний вокзал”, де її границі? Привокзальна площа для транспорту входить до неї чи ні? А залізничні колії, на якій відстані віднести їх до системи “вокзал”?

Студент на канікулах входить до системи “ВУЗ” чи ні?

Отже, вже перше питання визначення границь системи, з яким зустрічаємось при переході від формальної до змістовної моделі, є досить складним і потребує уважного відношення.

Аналогічна ситуація виникає при виборі вхідних величин. Усяка система зв’язана з навколишнім світом безмежною кількістю зв’язків. Які з них слід вибрати як вхідні величини системи? Наприклад, система “Тролейбус”, в якості вхідних величин можуть бути електроенергія, керування, взаємодія з дорогою, пасажери. При більш детальному розгляді необхідно враховувати якість електроенергії, взаємодію струмоприймача з проводом, зчеплення з дорогою, нахил дороги, нерівності дороги, якість дорожнього покриття, дію опору повітря, атмосферні осадки. Водій, керуючи рухом тролейбуса, користується рулем, гальмами, перемикає світло, переводить ручку контролера. При технічному

огляді здійснюють змазку вузлів, регулювання, для чого повинні бути передбачені певні отвори, регулювальні гвинти тощо. Тобто, як ми бачимо, вхідних величин у не самій складній системі, якою є тролейбус, надзвичайно велика кількість. Які ж з них треба включити до системи “Тролейбус”, а які можна не включати? Вхідні величини, як і границі системи, вибирають залежно від контексту, точки зору та цілей моделювання. Без чіткої постановки задач моделювання, обмеження контексту розгляду проблеми відповісти на поставлені вище запитання неможливо. Аналогічна ситуація виникає при виборі вихідних величин.

Модель “чорний ящик” при формальному математичному розгляді може мати представлення системи у вигляді оператора, який діє на вхідні величини і перетворює їх 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, як бачимо, модель „Чорний ящик” може бути і надзвичайно складною.

Складність побудови моделі типу “Чорний ящик” полягає ще й у тому, що вона є основою подальшого вивчення системи і розробки конкретних пропозицій для практичної діяльності. На першому етапі аналізу системи можна вибрати або дуже багато вхідних величин, тоді система з простої перетвориться в складну, велику, і вивчити її дуже важко, або вибрати недостатню кількість вхідних величин і система стає спрощеною, вивчення її не дасть практичного результату. Якщо модель служить для цілей розробки певного проекту, для певних практичних рекомендацій, то помилки моделювання і аналізу на початкових етапах виправити пізніше досить важко і коштує це в 10 -100 разів більше. Наприклад, автомобілебудування. У моделі автомобіля на початку його промислового виробництва ніхто не врахував вихлопних газів, теплового випромінювання. Це призвело до виникнення смогу, в якому задихалися, вмирали люди великих міст, до порушення озонового шару Землі, до глобального потепління. Цих явищ могло б не бути, якщо початково в модель були б включені вказані вихідні величини і автомобілебудування їх враховувало. Тепер виправити ці наслідки надто важко.

Модель типу “Чорний ящик” дозволяє подати систему у вигляді оператора R , який перетворює вхідні величини у вихідні. Якщо цей оператор 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, як бачимо, модель „Чорний ящик” може бути і надзвичайно складною.

Отже, в підсумку слід відзначити, що 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.

3. 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 при необхідності розглядають ієрархію підсистем, розрізняють підсистеми 1, 2, 3, і т.д. рівня. Формальна модель типу “Склад системи” являє собою 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, як це показано на рис. 12.

Модель “Склад системи” будують на основі вивчення складових частин системи. На вербальному рівні маємо морфологічний опис (аналіз) системи. Модель „Склад системи” є подальшим розвитком субстрактного 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 табл. 3. 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.

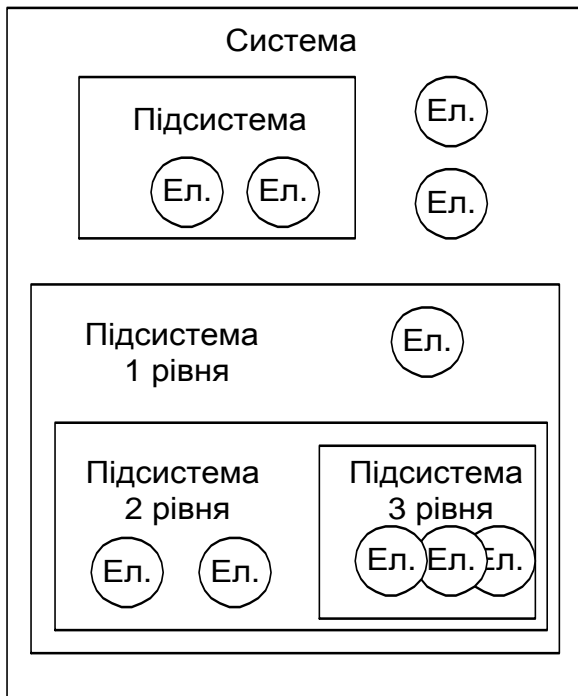


Рис. 12 - Формальна модель "Склад системи"

Таблиця 3 - Результати аналізу системи "Тролейбус" на вербальному рівні

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. Наприклад, система “міський пасажирський транспорт” залежно від цілей моделювання може включати міські магістралі, підрозділи міськвиконкому, підрозділи міліції, які здійснюють керування рухом на міських магістралях, або включати тільки транспортні засоби.

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? Відповіді на ці запитання можна по-різному. 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.

Труднощі побудови моделі мають ряд причин:

По-перше, поняття елемента системи можна розуміти по-різному. То, що в одному випадку для вирішення однієї проблеми є елементом, в іншому - складною системою.

По-друге, всяка модель є цільова, а для різних цілей в системі потрібно розглядати різні частини.

По-третє, з різної точки зору система виглядає по-різному. Наприклад, для директора, головного бухгалтера чи інженера заводу складається з різних систем.

По-четверте, усякий поділ є відносним, наприклад, гальмівну систему тролейбуса можна вважати складовою частиною системи керування або ж віднести до ходової частини.

Для успішної побудови моделі “Склад системи” і при виборі підсистем та елементів системи слід виходити із принципу цілісності системи і враховувати умови необхідності та достатності виконаного аналізу.

Принцип цілісності побудови моделі полягає в тому, що модель повинна відображати систему повністю з урахуванням усіх її функцій.

Умова необхідності полягає в тому, що в модель включають тільки елементи, необхідні для виконання системою своїх функцій. Вона дозволяє виявити суттєві елементи й відділити їх від несуттєвих.

Умова достатності полягає у тому, що при побудові моделі враховують чи дозволяють виділені частини в достатній мірі врахувати всі функції системи. Вона забезпечує включення усіх необхідних частин в модель і дозволяє обмежити аналіз його.

Приклад моделі “Склад системи” показано на рис. 13.

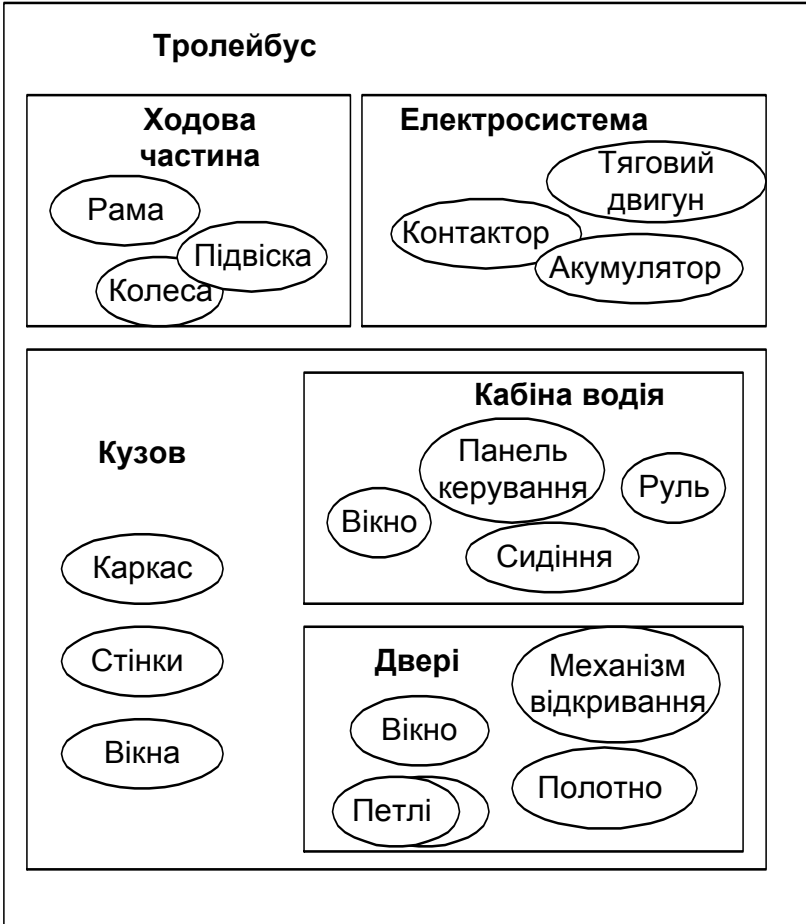


Рис. 13 - Фрагмент змістовної моделі “Склад системи” для системи “тролейбус”

Поняття “елемент” - одне з основних в теорії систем. Всяка система незалежно від її природи, має складну будову. Вона складається

з різноманітних неоднорідних частин. Кожна частина системи має свої функції, свою будову і свою поведінку. Вона може визначатись як “підсистема” або “елемент” системи залежно від завдань дослідження, контексту розгляду системи. Суть понять “підсистема” і “елемент” дуальна: “підсистема” для частин системи, що знаходяться вище, виступає як елемент, а для частин системи, що знаходяться нижче в структурній ієрархії “підсистема”, - як система.

Елемент – це відносно самостійна частина системи, яка на даному рівні аналізу розглядається як одне ціле зі своєю поведінкою, направленою на реалізацію властивої цьому елементу функції.

Характеристиками елемента є:

- елемент виконує одну чи декілька функцій,
- елемент має свої властивості, свою поведінку,
- елемент використовується у певному контексті.

Важливим поняттям є цілісність елемента. Вона залежить від внутрішніх і зовнішніх факторів. Такими факторами є зв'язки елемента та інтенсивність обміну. Внутрішні фактори - зв'язки та інтенсивність взаємодії частин елемента. Зовнішні фактори – це зв'язки елемента з іншими елементами і взаємодія між ними. Цілісність елемента визначається співвідношенням внутрішніх і зовнішніх факторів. Коли внутрішні фактори переважають над зовнішніми, то елемент є стійким, в іншому випадку він може бути або зовсім нестійким, або мати певну відносну стійкість. У теорії систем ці властивості виражають більш формалізованою мовою на основі математичної теорії множин.

Саме поняття “елемент” трактується подвійно. З одного боку елемент – це абсолютна категорія, що має він конкретний зміст, а з другого - поняття відносне. Поняття “елемент” як абсолютна категорія означає, що це початкова, неподільна, найменша частинка системи. Ми вважаємо, що така частинка існує і в такому відношенні поняття “елемент” має абсолютне значення. З іншого боку, поняття “елемент” є відносне, оскільки пов'язане з рівнем розгляду і деталізації системи із завданнями дослідження. Залежно від цілей розгляду, точки зору елементом може бути та чи інша частина системи, той чи інший її компонент. Із зміною точки зору поняття “елемент” змінюється, тобто категорія “елемент” залежить від розгляду системи і в цьому полягає відносність поняття “елемент”.

4. Модель типу “Структура системи”

Розглянуті нами моделі послідовно дозволяють збільшувати ступінь знань про систему. Модель “Структура системи” несе ще бі-

льше інформації про систему. Якщо, наприклад, для системи “сім’я” достатньо вказати склад сім’ї, то для характеристики тролейбуса, чи іншої системи одного переліку елементів та підсистем замало. Необхідно ще вказати 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 визначенні системи ми вказували на наявність 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 два підходи, а саме:

- 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 [13 -15].

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. Ми в якості формальної моделі “Структура системи” будемо розглядати певний граф. Ця 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 “Структурна схема”.

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

Розглянемо 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 напрямки.

Ненаправлений граф – граф, у якому напрямком 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,
- сіткову,
- матричну.

Вигляд структур, що відповідають вказаній топології, показаний на рис. 14.

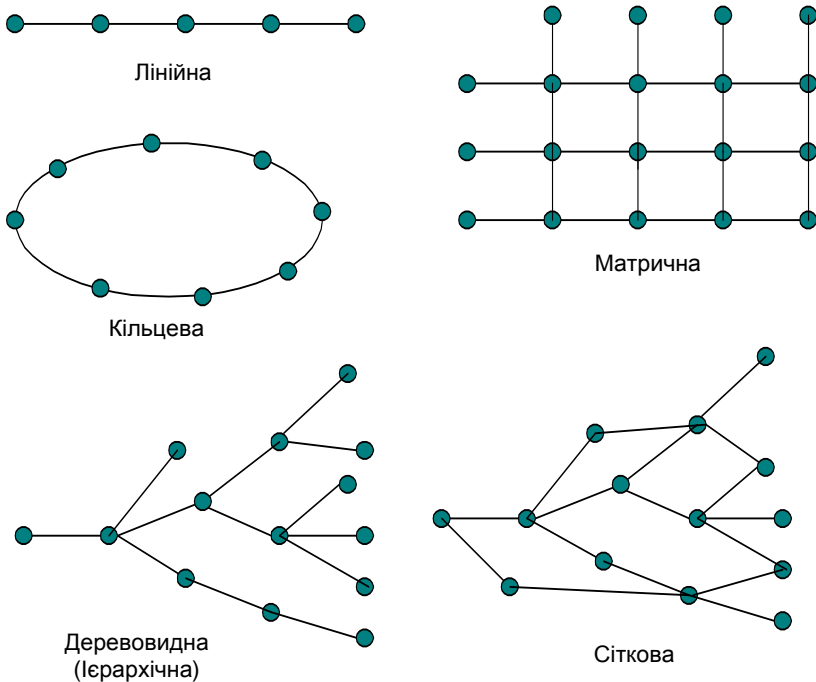


Рис. 14 - Типи (топологія) структур систем

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. У системі “Тролейбус” лінійна структура відповідає передачі електричної енергії від приймальної штанги до електродвигуна.

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. У тролейбусі кільцеві структури описують, наприклад, роботу гідросистеми. Системи охолодження двигуна автомобіля також має кільцеву структуру. 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. Різновиди ієрархічних

структур будуть розглянуті в подальшому. 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, наприклад, ми це бачили при розгляді 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.

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

Сітьова 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.

5. Модель “Структурна схема системи”

Ця модель являє собою сукупність розглянутих вище 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 зображують 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 протиположності 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.

6. Динамічні моделі

Це моделі, що зображують динаміку системи. Розрізняють такі різновиди 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 системі протягом деякого більш тривалого проміжку часу. Слід зауважити, що 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 протиположності 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. супрово-

джується 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. На основі теоретичних розрахунків встановлено, що системи можуть бути безсмертними чи смертними. Для того щоб система існувала вічно, була безсмертною необхідно, щоб вона розширювалась. Встановлена теорема, згідно з якою система була б вічною, потрібно щоб зростання елементів у системі не відставало від логарифмічного закону.

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 ж відноситься і до 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.

7. Моделі зовнішнього середовища

Розглянуті нами 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. 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. Такими властивостями є складність середовища, його рухомість, ступінь визначеності, взаємозв'язок факторів середовища. Приклад моделі середовища наведений на рис. 15.

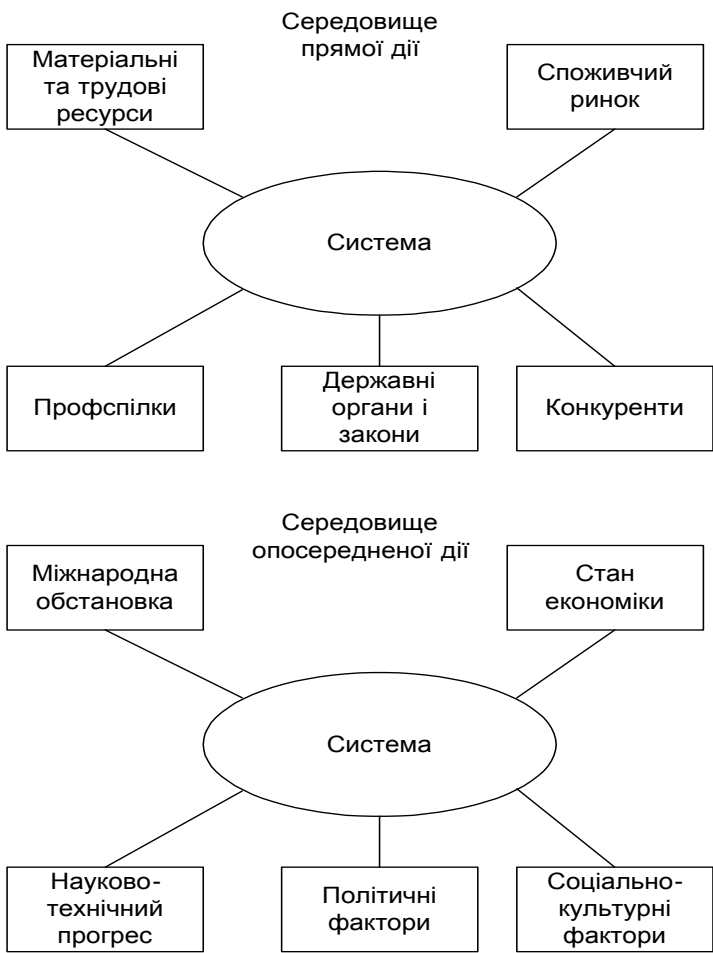


Рис. 15 - Модель зовнішнього середовища

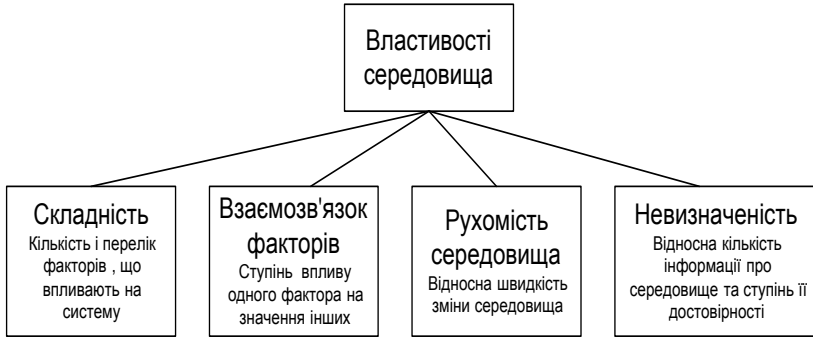


Рис 16 - Модель властивостей середовища

Контрольні запитання

1. Які моделі відносять до формальних моделей, яке їх значення в системному аналізі?
2. Що розуміють під поняттям “змістовна модель”?
3. Як Ви розумієте поняття “інтерпретація”, в якій мірі воно відноситься до змістовних моделей?
4. Чим обмежена кількість формальних і змістовних моделей?
5. Що являє собою формальна модель типу “Чорний ящик”?
6. Яке значення моделі типу “Чорний ящик” у системному аналізі”?
7. Наведіть приклади використання моделі типу “Чорний ящик” у різних наукових дисциплінах.
8. У чому полягають труднощі побудови змістовної моделі типу “Чорний ящик”?
9. Опишіть формальну модель типу “Склад системи”.
10. Що розуміють під поняттям “елемент системи”?
11. Який рівень підсистем треба врахувати під час системного аналізу?
12. Дайте визначення поняттю “елемент”.
13. У чому полягає відносність поділу системи на підсистеми і елементи?
14. У чому полягає умова необхідності й достатності під час побудови моделі “Структура системи”.
15. Назвіть основні характеристики елемента.
16. У чому полягає використання підходу теорії множин для опису структури системи?

17. Що являє собою матриця суміжності, для чого її використовують у системному аналізі?
18. Дайте визначення поняттю “граф”.
19. Який граф називають деревом ?
20. Що розуміють під поняттям топологія графа?
21. Які типи топологій графа Ви знаєте?
22. Дайте визначення ієрархічної структури.
23. Опишіть формальну модель “Структурна схема”.
24. Що розуміють під поняттям “динаміка системи”?
25. Які різновиди динаміки Ви знаєте?
26. Що входить в середовище прямої дії?
27. Що входить в середовище опосередкованої дії?
28. Які властивості зовнішнього середовища Ви знаєте?

Розділ 7. Формалізовані процедури системного аналізу

1. Аналіз та синтез у теорії пізнання і системному аналізі

Системний аналіз - це складний процес вивчення системи і розробки варіантів вирішення проблеми. Він вимагає від аналітика інтуїтивного мислення, неформального підходу до проблеми, глибоких знань і практичних навичок. У системному аналізі розроблено цілий ряд формалізованих процедур, орієнтованих на одержання практичного результату. Провідне значення серед цих процедур займають процедури декомпозиції та агрегації. У теорії пізнання їм відповідає метод наукового вивчення, відомий як аналіз та синтез.

Аналіз (грецьке analysis – розкладання, розчленування) – це метод наукового дослідження, який полягає в уявному або реальному розчленуванні цілого на складові частини і вивчення цих частин.

Синтез (грецьке synthesis – з'єднання, складання) – метод вивчення предмета в цілості, єдності і взаємозв'язку його частин. Це з'єднання (уявне чи реальне) різних об'єктів, елементів в одне ціле (систему).

Аналіз та синтез – діалектично протилежні процеси уявного або реального розчленування цілого на частини і об'єднання частин в одне ціле. Діалектично протилежні ми говоримо тому, що один процес заперечує інший, але у теорії пізнання вони виступають разом і один без одного втрачають свій зміст, без аналізу немає сенсу виконувати синтез і навпаки. Тобто – це взаємопов'язані та взаємозумовлені логічні методи наукових досліджень. Вони виникли на основі практичної діяльності людей, їхнього досвіду. Єдність аналізу і синтезу забезпечує об'єктивне, адекватне відображення дійсності.

2. Декомпозиція і агрегація

Декомпозиція у системному аналізі відповідає аналізу в теорії пізнання. Вона полягає в розбитті системи на підсистеми і вивчення підсистем, задачі - на підзадачі, цілей - на підцілі.

Вказаний процес повторяють, що приводить до деревовидних ієрархічних структур цілей задач і завдань системи, вивчення яких дозволяє вивчити систему, її внутрішній склад та функціонування.

Агрегація – це об'єднання частин в одне ціле.

Якщо декомпозиція є етапом аналізу, при якому вивчають склад системи, роботу її елементів, одержують знання про те, як працюють складові частини системи, які функції вони виконують, то агрегація є етапом синтезу. При агрегації вивчають взаємодію елементів і функціонування системи в цілому, одержують знання, чому і для чого система функціонує. Співвідношення етапів аналізу й синтезу показано у табл. 4.

Таблиця 4 - Порівняння етапів аналізу та синтезу

Етапи аналізу	Етапи синтезу
Декомпозиція системи. Розбиття на частини	Розгляд системи як частини макросистеми (великої зовнішньої системи)
Пояснення поведінки кожної частини системи	Пояснення поведінки єдиного цілого
Знання про частини агрегуються (об'єднуються) в знання про ціле	Розуміння роботи цілого дезагрегуюється для пояснення частин. Визначаються ролі агрегатів у цілому
В аналізі розкривається структура системи, те, як вона працює. Продукт аналізу – знання	У синтезі розкривається функціонування системи, те, чому система працює саме так. Продукт синтезу – розуміння
Мета аналізу – знання	Мета синтезу - розуміння

3. Процедура декомпозиції. Алгоритм декомпозиції

Процес декомпозиції завжди здійснюється на основі певної моделі системи. За основу береться модель і відповідно до неї виконується декомпозиція. Найбільш часто декомпозиція здійснюється по моделях “Склад системи”, “Структура системи”. Розглянемо особливості виконання декомпозиції з використанням цих моделей.

Більшість об'єктів, як правило, є складними, мало структурованими, не чітко формалізованими. Тому декомпозиція являє собою складний творчий процес. Відносно легко виконати декомпозицію технічних систем, створених людиною. При декомпозиції відповідно до моделі “Склад системи” виділяють основні вузли системи (підсистеми і рівня), наприклад, у тролейбусі: електрообладнання, шасі і т.п. Пізніше кожен з цих вузлів можна розділити на підсистеми II, III і т.д.

рівнів, до тих пір, поки подальший поділ стане неможливим без зміни функціональних властивостей елемента. Але навіть поділ технічної системи є неоднозначним. Наприклад, куди віднести гальмо велосипеда? До підсистеми колесо чи до підсистеми керування? Значно більше питань виникає при декомпозиції біологічних, соціально-технічних, організаційних та інших систем.

Особливе значення в системному аналізі має декомпозиція цілей й завдань системи. На основі такої декомпозиції будуються функціональні й деякі інші моделі. Ця декомпозиція виконується у декілька етапів. На першому етапі відповідно до цілей системи визначають головні завдання системи, які в сукупності забезпечують виконання всіх цілей системи. На наступних етапах завдання розбивають на окремі задачі, задачі - на підзадачі і окремі функції. У результаті одержують ієрархічне дерево цілей системи.

Під час виконання декомпозиції і по її закінченні для оцінки якості виконаної роботи необхідно відповісти на два запитання: Чи забезпечена повнота декомпозиції і чи завершеною є декомпозиція? Виконати декомпозицію і відповісти на ці запитання можна на основі моделі системи. Модель системи, на основі якої виконується декомпозиція, називають моделлю – основою.

Процедура декомпозиції полягає у зіставленні з моделлю – основою. Раніше відмічалось, що модель визначається ціллю системи. Звідси випливає, що декомпозиція системи залежить від цілей системи чи цілей дослідження, яке виконує системний аналітик. В основу декомпозиції вибирають певну модель системи, у прикладі, розглянутому раніше, це була модель “Склад системи”.

4. Поняття фреймів

Повнота декомпозиції залежить від повноти формальної моделі, взятої за основу, тобто моделі-основи. Повні формальні моделі систем називають фреймами [1,2]. Формальні моделі це абстрактні моделі систем. Повною називається модель, яка забезпечує повноту аналізу, в яку входять всі елементи системи. Кількість таких моделей обмежена. Наприклад, модель, що включає: елемент, відношення між елементами, середовище – це фрейм – формальна модель найвищого рівня абстракції. Вона є повною, тому що включає усі можливі елементи систем. Конкретні змістовні моделі будують на її основі. Використовуючи таку модель, можна побудувати змістовні моделі планети, держави, економіки, тролейбуса і т.п. Формальною моделлю діяльності є мо-

дель, показана на рис. 17. У неї входить предмет діяльності, засіб, суб'єкт, об'єкт і середовище.

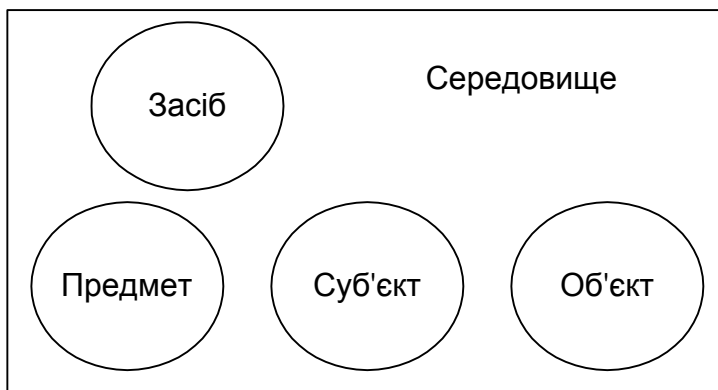


Рис. 17 - Повна формальна модель діяльності (фрейм)

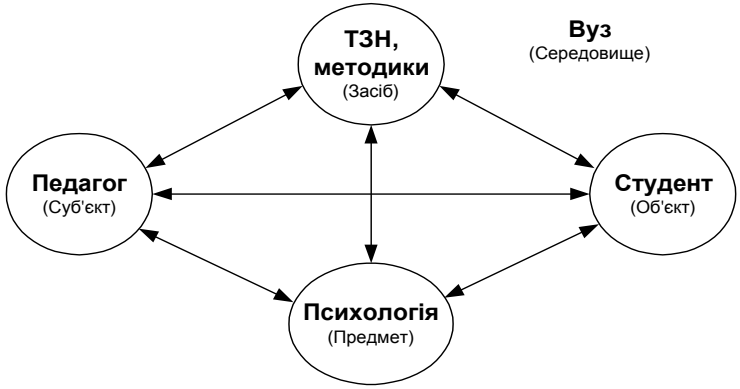
На основі формальної моделі діяльності може бути побудований цілий ряд змістовних моделей навчання. Розглянемо такі приклади:

Перший - навчання у вузі: викладач за допомогою технічних засобів навчання, методик навчає студента. Модель його показана на рис. 18, а.

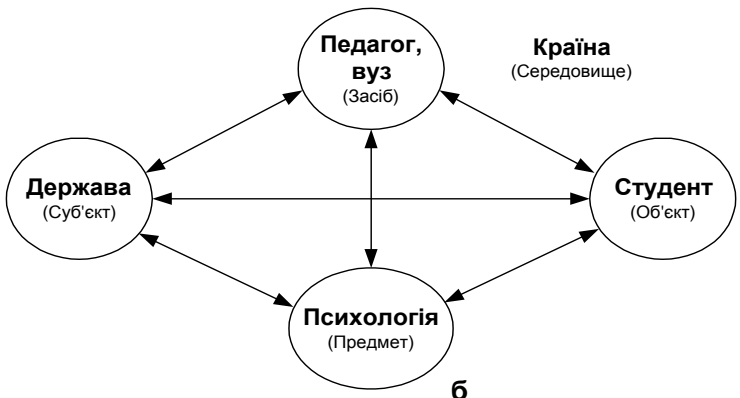
Другий - система навчання в державі: держава за допомогою інститутів, педагогів готує потрібних їй спеціалістів. Модель ця показана на рис. 18, б.

Третій - система заочного навчання: студент одночасно є суб'єктом і об'єктом навчання, оскільки сам оволодіває знаннями. Викладач є засобом самонавчання, студент використовує консультації викладача для засвоєння знань. Предметом навчання може бути, наприклад, психологія. Ця модель показана на рис. 18, в.

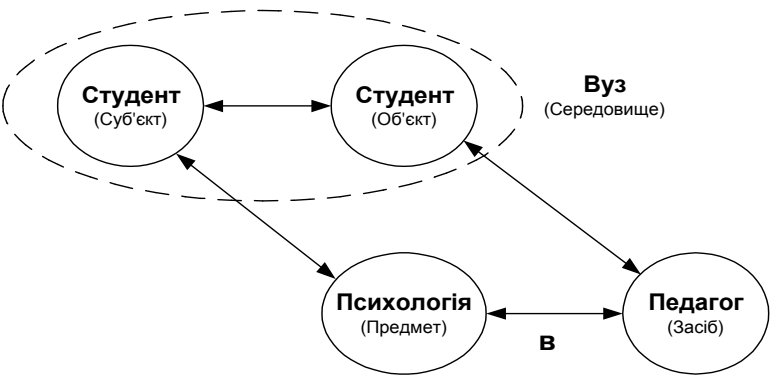
Моделі "Чорний ящик", "Склад системи", "Структура системи", "Структурна схема" - це також повні формальні моделі, тобто фрейми. Виконуючи декомпозицію, ми використовуємо ці моделі (фрейми) і будуємо свої змістовні моделі. Причому повнота створеної моделі залежить від повноти фрейма. Отже, важливим завданням системного аналізу є створення бази фреймів. Чим більша ця база, тим легше і більш повно можна виконати декомпозицію системи. Сукупність декількох моделей декомпозиції забезпечує всебічне вивчення системи.



а



б



в

Рис. 18 - Змістовні моделі навчання

Закінчення процедури декомпозиції по кожній моделі-основі визначається двома вимогами - вимогою простоти і вимогою повноти створеної моделі. Простота декомпозиційної моделі оцінюється розмірами дерева декомпозиції в глибину і в ширину. Рішення про припинення процедури декомпозиції приймається на основі компромісу між потрібною повнотою і бажаною простотою моделі. Основою компромісу є принцип “суттєвості”. Згідно з ним у модель включають тільки суттєві компоненти по відношенню до цілей аналізу.

Повнота розгляду системи полягає в усесторонньому розгляді системи. Забезпечується вона використанням моделі-основи. Оскільки моделей - основ багато, то необхідно співвідносити цілі й задачі системного аналізу з питанням використання усіх потрібних й корисних моделей. Тобто декомпозиція - це не акт побудови однієї моделі, вона може включати побудову деякої кількості моделей. Чим більше буде використано моделей - основ для декомпозиції, тим більше змістовних моделей буде побудовано, тим глибший і корисніший буде аналіз і більш виваженими будуть рекомендації, які на основі такого аналізу будуть розроблені. На рис. 19 наведено загальний алгоритм виконання декомпозиції з використанням ряду фреймів [1-2].

5. Агрегатування

Агрегатування – це об’єднання декількох розрізнених елементів в одне ціле. Агрегат відрізняється від простої сукупності зовнішньою й внутрішньою цілісністю. Це означає, що між елементами агрегату з’являються нові зв’язки, що створюють нові властивості, яких не було до об’єднання.

Емергентність - властивість агрегату, яка полягає в тому, що його властивості не зводяться до властивостей складових частин, а з’являються нові, властиві тільки для даного об’єднання (emergence англ. – несподіване виникнення). Візьмемо, наприклад, кіно. Звичайна фотографія дає нерухоме зображення предмета. Послідовний показ фотографій з інтервалом не більше 0.05 с приводить до появи нової властивості, а саме рухомого зображення. З’єднання певного числа фотографій викликало появу нової властивості, якої не було в жодній з фотографій, причому поява цієї властивості зумовлена вказаним способом з’єднання.

Інший приклад подано в книзі [1]. Нехай є деякий числовий автомат, який перетворює ціле число (n) на вході у число на 1 більше ($n+1$). Якщо з’єднати два таких автомати в послідовне кільце, як показано на рис. 20, то в системі з’явиться нова властивість: система гене-

рує послідовно числа натурального ряду, причому на одному виході (А) будуть тільки парні числа, а на іншому (В) - непарні. У системі з'явилась нова властивість. Такої властивості не було в частинах системи до об'єднання. Ця властивість характерна тільки цьому типу зв'язків, а саме послідовному з'єднанню в кільце двох ланок. При іншому з'єднанні такої властивості не буде.

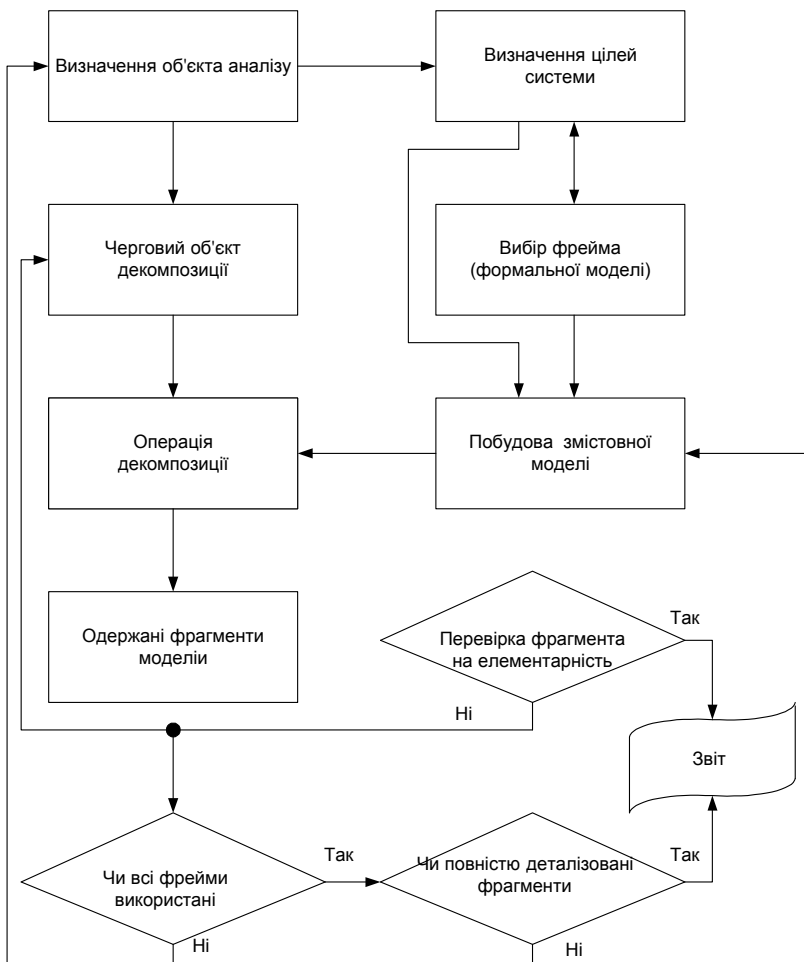


Рис. 19 - Блок-схема алгоритму декомпозиції

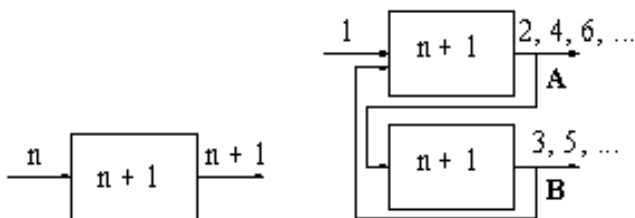


Рис. 20 - Приклад числового автомата

Ще один приклад - автомобіль. Це з'єднання двигуна, шасі, коліс і кузова. При такому з'єднанні з'явився транспортний засіб, що має нові властивості, яких не було в кожного з елементів до з'єднання.

Англійський астрофізик Єдінгтон писав: "Нерідко думають, що, вивчивши який-небудь об'єкт, знають все про два таких же об'єкти, тому що "два" – це "один" і "один". При цьому забувають, що необхідно дослідити ще те, що скривається за цим "і". Вивчення цього "і" інколи не менш важливе ніж вивчення самого об'єкта".

Нові властивості в системі устанавлюються "несподівано" і передбачити їх подекуди неможливо, а деколи неможливо й пояснити. Наприклад, відомо, що головний мозок людини має 10^{10} нейронів і кожен них має від 10 до 100 нервових закінчень - синапсів. Але для науки невідомі ці взаємозв'язки нейронів головного мозку, як вони взаємодіють між собою, як відбувається запам'ятовування інформації мозком: чи встановлюються нові зв'язки між нейронами, чи виділяється якась речовина чи це відбувається якимось іншим чином? У нас є тільки певні аналогії, а саме: пам'ять комп'ютера і голографія. У комп'ютері інформація записується послідовно в елементах пам'яті у вигляді кодових величин, розміщених у певному порядку. В голограмі інформація запам'ятовується всім об'ємом голограми і кожна частина її зберігає всю інформацію тільки менш чітко з меншою кількістю деталей. Яка з цих моделей відповідає механізму запам'ятовування мозком, ми поки що не знаємо.

Аналогічною проблемою, наприклад, є завдання вивчення того, як працюють ноги в геконів - тропічних ящірок. У них на нозі тисячі надзвичайно тоненьких волосків, які обхоплюють нерівності поверхні. Це дозволяє гекону бігати по поверхні вниз головою. Як здійснюється взаємодія волосків, звідки кожен з них "знає", в який бік відхилитися, щоб охопити нерівність і в потрібний момент відпустити її?

Емергентність – характеристика внутрішньої цілісності системи. Існує тісний зв'язок між мірою відміни цілого (агрегату) від суку-

ності частин і ступенем організованості цілого. Чим більша ця різниця, тим більш високий рівень організованості має система. Наприклад, властивості комп'ютера і його складових частин суттєво відрізняються. Комп'ютер рисує картини, відтворює музику, а інколи і сам її створює, грає у шахи і т.п. Таких властивостей не має жоден елемент, що входить до складу комп'ютера.

6. Форми агрегатів

Агрегування - це процедура встановлення бажаних відношень на заданій множині елементів.

Агрегат (від лат. aggrego –приєднання) – об'єднання частин, вузлів чи машин, які спільно виконують одну функцію.

У системному аналізі розрізняють декілька форм агрегатів. Найбільш важливі з них такі:

- конфігуратор,
- оператор,
- структура.

Конфігуратор – мінімальна сукупність мов чи сторін опису системи, достатніх для повного знання системи відповідно до цілей дослідження. Тут під мовами розуміємо різні описи, які доповнюють один одного. Наприклад, телевізор з метою його виготовлення може бути описаний структурною, принциповою і монтажною схемами. Кожна з цих схем описується по-різному, на різній мові, відрізняються правила побудови схем, умовні позначення, характеристики системи, які кожна з них описує.

Типовим конфігуратором є службова характеристика людини, що включає ділові і професійні якості, морально-психологічні сторони, сімейний стан та стан здоров'я. Цих сторін опису достатньо для того, щоб прийняти людину на роботу і доручити виконання певних функцій.

Опис деталі в трьох проекціях - це також конфігуратор, він дозволяє повністю описати деталь і виготовити її. Для визначення кожної точки поверхні деталі достатньо знати три її координати. Причому останнє не залежить від того, якою системою координат ми користуємося: декартовою, циліндричною, сферичною чи іншою.

Отже, конфігуратор системи включає в себе мінімальну кількість сторін її опису. Він дозволяє одержати повну інформацію про систему. У нього завжди входить мінімальна і необхідна кількість описів системи. При зміні цілей конфігуратор може змінюватись, може також змінюватись необхідна кількість описів, що входять у конфігу-

ратор. Знаючи конфігуратор системи, ми вважаємо, що знаємо про систему все, що потрібно у відповідності з цілями.

Іншим видом агрегату є оператор, наприклад, оператор класифікації. Деколи висловлюється думка, що класифікація - це розбиття на групи і підгрупи, тобто це процес декомпозиції. Насправді ж саме навпаки. Класифікацію виконують тоді, коли є досить багато об'єктів і їх треба якось об'єднати, класифікувати, знайти спільне в них. Тоді в дію вступає оператор класифікації. Він має такий вигляд:

ЯКЩО <умова чи ознака, сукупність умов>

ТО ВІДНЕСТИ ДО <ім'я класу>

Прикладів дії оператора класифікації можна навести чимало. Розглянемо приклад з металургії. У матеріалознавстві ви вивчали сплави чорних металів. Їх досить багато і кожен з них має різні характеристики. Класифікація за вмістом вуглецю дозволяє виділити чавун і сталі, а серед сталей леговані сталі. Серед електротехнічних матеріалів виділяють провідники й ізолятори.

Зовнішня простота оператора класифікації не означає простоти її виконання. Класифікація - це доволі складний та неоднозначний процес, який вимагає глибоких професійних знань. Робота спеціалістів багатьох професій потребує виконання операції класифікації, це робота лікаря, юриста, археолога, ботаніка та інших.

Візьмемо, наприклад, медицину. Лікар ставить діагноз захворювання. За певними ознаками, відповідно до операції класифікації, він повинен визначити захворювання і вказати назву хвороби пацієнта. Все подальше лікування, його успіх залежать від правильності діагнозу. Але ми знаємо чимало прикладів лікарів, які були дуже хорошими діагностами але, на жаль, відомі також випадки лікарських помилок, коли невірний діагноз призводив до трагічних результатів лікування. Без глибоких професійних знань неможливо поставити діагноз і вилікувати людину.

Робота юриста також пов'язана з класифікацією, в основі якої лежать кодекси законів. Юрист за ознаками порушення закону повинен встановити, якою статтею це порушення класифікувати і які заходи вжити до порушника закону.

У математиці до агрегатів типу оператор також можна віднести певні статистики, наприклад, віднесення ймовірності випадкової величини до того чи іншого закону розподілу (гаусівського, рівномірного, пуассонівського тощо).

Наступний вид агрегатів – структури. Якщо при аналізі ми розбиваємо систему на елементи, то при синтезі елементи об'єднуємо у певні структури. Структури є найбільш поширеним видом агрегатів.

До структур відносяться практично всі системи навколишнього світу. Автомобіль – це певна структура, живий організм – також структура, промислове підприємство, навчальний заклад, держава – все це приклади різноманітних структур. У них виявляються всі властивості агрегатів.

Структури ми описуємо структурними схемами. Важливо відзначити, що, як правило, для всестороннього опису системи необхідно вказати декілька структур (структурних схем). Сукупність усіх суттєвих відношень системи, як ми це відзначили, визначається конфігуратором системи. Тому аналіз системи повинен містити стільки структур (структурних схем), скільки їх входить у конфігуратор системи. Кожна структура може мати різну топологію, але усі вони зв'язані між собою. Наприклад, для організаційно-технічної системи це структура керування, структура функціонування та інформаційна структура.

Розглянемо агрегати в математиці. До них можуть бути віднесені функції декількох змінних. Функція об'єднує змінні. Змінні в математиці можуть вибиратися за нашим бажанням, але довільність обмежується як тільки функції, яка об'єднує змінні, надається фізичний зміст. У багатьох випадках, коли функція є моделлю, яка адекватно описує систему, вибір змінних є однозначним. У фізиці цікавим є випадок, коли з певних змінних можна одержати безрозмірну функцію. У багатьох випадках це відповідає певному закону фізики. Наприклад,

вираз $\frac{ma}{F}$ (маса, помножена на прискорення і поділена на силу) є безрозмірним. Йому відповідає другий закон Ньютона, а саме

$$F = ma .$$

Вираз $\frac{Ut}{\Phi}$ (напруга, помножена на час і поділена на магнітний потік) також безрозмірний. Йому відповідає закон електромагнітної індукції

$$U = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} .$$

Контрольні запитання

1. У чому полягає діалектична єдність аналізу і синтезу в пізнавальній діяльності?
2. Дайте визначення поняттям “аналіз” і “синтез”.
3. Що собою являє процес декомпозиції?

4. У чому сутність процесу агрегації?
5. У чому кінцева ціль аналізу?
6. У чому полягає ціль синтезу?
7. Що таке модель-основа, як вона використовується при виконанні декомпозиції?
8. Що означає термін “повнота декомпозиції”?
9. Які моделі називають фреймами?
10. Наведіть приклад побудови декомпозиції на основі Фрейда.
11. На основі яких вимог визначається завершеність декомпозиції?
12. У чому полягає повнота розгляду системи при побудові її моделей?
13. Опишіть алгоритм декомпозиції.
14. У чому полягає операція агрегації?
15. Чим агрегат відрізняється від простої сукупності?
16. Що розуміють під поняттям “емерджентність”?
17. Наведіть приклади появи нових властивостей при об’єднанні в агрегат.
18. Які типи агрегатів Ви знаєте?
19. Що являє собою агрегат типу конфігуратор?
20. Чому операція класифікації вважається операцією агрегування?
21. Чи може функція декількох змінних вважатись агрегатом?
22. Наведіть приклади агрегатів - структур.

Розділ 8. Застосування сучасної обчислювальної техніки при побудові моделей системного аналізу

1. Огляд історії розвитку обчислювальної техніки

Як ми раніше бачили, системний аналіз являє собою досить складний процес вивчення та аналізу системи. Він вимагає крім теоретичних знань, великого обсягу роботи з пошуку інформації, її структуризації, побудови моделей, вивчення системи за допомогою створених моделей. Виконання такої складної і об'ємної роботи потребує великих зусиль і затрат часу. Суттєво полегшити роботу та покращити якість її виконання може сучасна обчислювальна техніка. Роль її при виконанні системного аналізу постійно зростає. У даний час неможливо уявити виконання системного аналізу складних систем без використання персональних комп'ютерів.

Переваги персонального комп'ютера полягають у тому, що він дозволяє працювати з великим обсягом інформації, зберігати її, структурувати, здійснювати пошук, видавати користувачеві потрібну інформацію практично миттєво. Обчислювальна техніка може здійснювати обробку інформації за бажаною програмою і видавати готові результати обробки, звільняючи користувача від клопіткої, трудомікої, рутинної роботи. Обчислювальна техніка дозволяє видавати інформацію у найбільш зручній формі: у вигляді зображень, звуків, графіків, таблиць тощо. Вона доступна кожному, хто потребує її використання у практичній діяльності. Ці переваги сучасної обчислювальної техніки, під якою ми в основному будемо розуміти персональний комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням, зумовили її широке використання у системному аналізі. Розглянемо більш конкретно головні характеристики персонального комп'ютера.

Перша обчислювальна машина на основі електромеханічних реле з'явилась у 1943 р., її створили під керівництвом американця Говарда Аліна за замовленням фірми ІВМ. Перша електронна обчислювальна машина ЕНІАК була створена у 1946 р. Її розробили американці Джон Песпер Екерт і Джон М. Мочлі. У 1949 р. в Манчестерському університеті Великобританії під керівництвом Моріса Уїлкса побудовано перший комп'ютер з програмою, що зберігалася в пам'яті. У 1958 р. сконструйована перша інтегральна мікросхема. У 1958 – 1964 рр. розроблені алгоритмічні мови “Фортран”, “Кобол”, “Алгол”, “Бейсик”.

У 1971 р. створено перший 4-розрядний мікропроцесор. У 1961 р. комп'ютери були приєднані до телефонної лінії за допомогою модему. В 1971 р. розроблено перший вінчестер. Перший сучасний персональний комп'ютер був побудований у гаражі в 1976 р. Стивом Джобсом і Стивом Возняком. До цього часу обчислювальна техніка вже набула досить високого рівня розвитку. Подальший розвиток персональних комп'ютерів досить стрімкий. Швидкодія сучасних комп'ютерів перевищує мільярд операцій в секунду, обсяги пам'яті складають сотні гігабайт (гігабайт – це 10^9 одиниць інформації). Про обсяг інформації сучасних комп'ютерів можна судити з такого прикладу: Гнучкий диск розміром 9 см містить 1,44 Мбайт інформації. Порівняємо його з таким носієм інформації, як книжка. На одній сторінці книжки розміщується приблизно 2000 літер. Для запам'ятовування літери потрібно 1 байт інформації. Тобто на гнучкому диску може бути записано до 700 сторінок тексту, що еквівалентно досить товстій книзі. На оптичний диск може бути записано до 700 Мбайт інформації, а це еквівалентне інформації невеличкої бібліотеки з декількома сотнями книжок (тільки тексту, не враховуючи рисунки). Перевагою інформації, вміщеної на комп'ютерних носіях, є зручність роботи з нею. За допомогою персонального комп'ютера можна майже миттєво знайти довільний фрагмент інформації, розсортувати інформацію, обробити, виконати аналіз, легко копіювати й вносити нову інформацію. Ці переваги і роблять комп'ютер незамінним при виконанні аналізу складних систем.

Розглянемо в головних рисах будову комп'ютера. До складу комп'ютера входить: мікропроцесор, системна шина, блоки пам'яті та інші елементи. Вони розміщуються в одному блоці, що має назву системного. До системного блоку приєднуються зовнішні пристрої: дисплей, клавіатура, маніпулятор “мишка”, принтер, сканер і цілий ряд інших. Пам'ять комп'ютера складається з різних частин: постійна, оперативна, вінчестер, кеш-пам'ять CMOS –пам'ять, зовнішня пам'ять на гнучких та оптичних (CD) дисках. Постійна, оперативна, кеш-пам'ять і CMOS –пам'ять відносяться до внутрішньої пам'яті комп'ютера. Ці типи пам'яті мають таке призначення: Оперативна служить для команд, які повинен виконувати мікропроцесор, у ній записується програма роботи мікропроцесора. Вона зроблена на основі електронних елементів і інформація, записана в ній, зникає при вимкненні комп'ютера. Постійна пам'ять служить для того, щоб розмістити в оперативній пам'яті інформацію, необхідну для початку роботи комп'ютера після його ввімкнення. У ній знаходиться той мінімум інформації, який дозволяє здійснити тестування складових частин комп'ютера і завантажити в оперативну пам'ять операційну систему з

носіїв інформації на дисках. Кеш-пам'ять, - це надшвидка пам'ять, яка знаходиться у проміжку між оперативною пам'яттю і мікропроцесором і служить для забезпечення великої швидкодії мікропроцесора, оскільки оперативна пам'ять не дозволяє мікропроцесорові працювати з максимальною швидкістю. CMOS пам'ять - це окремий блок пам'яті, який живиться від акумулятора. Вона призначена для зберігання інформації про структуру комп'ютера, розподіл пам'яті й деякі установки, необхідні для його роботи.

До зовнішньої пам'яті відносяться вінчестер і запам'ятовуючі пристрої на гнучких та оптичних дисках. Вінчестер конструктивно розміщується у системному блоці, але функціонально він виконує роль зовнішньої пам'яті. Запам'ятовуючі пристрої на гнучких і компакт-дисках служать для введення інформації в комп'ютер, для її запису і зберігання незалежно від комп'ютера, для перенесення інформації з одного комп'ютера на інший.

Головними характеристиками комп'ютера є такі: швидкодія мікропроцесора (тактова частота), розрядність, обсяг оперативної пам'яті і обсяг пам'яті вінчестера. У сучасних комп'ютерів середнього класу тактова частота порядку 1700 МГц, розрядність 128, обсяг оперативної пам'яті 128 -256 Мбайт, обсяг вінчестера 40 – 80 Гбайт. Ці характеристики швидко зростають, наприклад, два роки назад вказані характеристики були в чотири рази менші.

Сучасна обчислювальна техніка перебуває на етапі бурхливого розвитку. Наукові розробки підготували теоретичну базу цього розвитку, а технічний прогрес забезпечив можливість її реалізації. Розвиток сучасних комп'ютерних технологій приводить до зміни всіх галузей практичної діяльності і має всеохоплюючий, загальнолюдський характер. Результати цього розвитку передбачити неможливо. Важко сказати, який буде світ після завершення етапу бурхливого розвитку комп'ютерних технологій. У комп'ютерній мережі сьогодні зосереджуються всі знання, одержані людством за тисячі років його розвитку, комп'ютерні технології стають новим потужним інструментом подальшого наукового прогресу. Вже тепер комп'ютерні технології, мережа Інтернет об'єднують весь світ. Світ швидко змінюється, об'єднується, зникають кордони між державами й континентами. Створюється єдина ноосфера (сфера розуму), про яку писав на початку XIX ст. академік В.І.Вернадський.

2. Операційна система комп'ютера

Перераховані вище складові частини відносяться до матеріальної основи комп'ютера, на мові спеціалістів - до "заліза". Комп'ютер не працюватиме без програмного забезпечення. Без нього це просто набір з'єднаних між собою електронних елементів, який не може нічого робити. Програмне забезпечення - це інформаційна складова, що забезпечує роботу комп'ютера. Його поділяють на системне й прикладне. Головною програмою, що забезпечує роботу комп'ютера, перетворює "залізо" в діючий комп'ютер, є операційна система. Операційних систем за весь час розвитку обчислювальної техніки було створено небагато. Відомо два - три десятки таких програм. Найбільше застосування знайшли операційні системи MS DOS, WINDOWS, UNIX, OS2. На комп'ютерах, які ми будемо використовувати, встановлена операційна система MS DOS і WINDOWS. Система WINDOWS є подальшою розробкою системи MS DOS, що обумовлена швидким розвитком обсягу інформації, з якою працює комп'ютер, переходом від текстового режиму роботи дисплею до графічного, забезпеченням більшої зручності й простоти користування. Призначення операційної системи таке:

- забезпечення роботи всіх складових частин комп'ютера,
- забезпечення діалогу комп'ютера з користувачем.

Операційна система записується на вінчестері чи дисках (гнучких чи оптичних) і завантажується в оперативну пам'ять автоматично після ввімкнення комп'ютера. Після ввімкнення, тестування, завантаження операційної системи комп'ютер готовий працювати і виконувати всі завдання користувача і прикладних програм.

Для успішної роботи з комп'ютером користувач повинен мати певні знання й навички, вміння вмикати комп'ютер та його пристрої, користуватись ними та приймати потрібні рішення при нестандартній роботі, вміння подавати команди за допомогою маніпулятора "мишка" чи спеціального олівця, а також вміння вводити інформацію за допомогою клавіатури. Обов'язковим є знання файлової системи комп'ютера і головних принципів роботи з програмними продуктами, що використовуються для виконання конкретного завдання [16].

Операційна система WINDOWS дозволяє одночасно працювати з декількома програмами. Робота з кожною програмою виконується в окремому вікні. На екрані дисплея одночасно можуть розміщуватись декілька вікон. Головне вікно, з якого розпочинається робота на комп'ютері, має назву "робочого столу". На ньому розміщені значки запуску програм і рядок, який з'являється при зміщенні курсора в ни-

жню частину екрану. В цьому рядку розміщена кнопка “Пуск”, значки вікон, які перебувають у звернутому вигляді, значки запуску деяких програм, встановлених за бажанням користувача. Ввімкнення комп’ютера здійснюється кнопкою на системному блоці, а вимкнення за допомогою маніпулятора “мишка” (спеціального олівця і планшета) при розміщенні курсору на кнопці “Пуск” командою завершення роботи. Такий порядок вимкнення комп’ютера обумовлений необхідністю закриття операційною системою всіх робочих програм і впорядкування тимчасових файлів на вінчестері.

Усі вікна програм можуть мати три розміри: на повний екран, регульований і звернутий. Розмір вікна встановлюється кнопками, що знаходяться у правому верхньому куті вікна. На екрані можуть розміщуватись декілька вікон. Робоче вікно встановлюється вибором за допомогою маніпулятора “мишка” на робочій поверхні екрану або у нижньому рядку. В робочому вікні виводиться прикладна програма, з якою в даний момент часу працює користувач.

3. Файлова система і робота з файлами

Файлова система визначає порядок розміщення інформації на носіях і порядок роботи з нею. Як вже було сказано, вінчестер сучасних комп’ютерів містить 40 – 80 Гбайт інформації. Це відповідає чималій бібліотеці. Відшукати потрібну інформацію в такому об’ємі, без чітко встановлених правил, надзвичайно важко. Для роботи з інформацією і створена файлова система. Щоб продуктивно працювати на комп’ютері, необхідно знати головні положення файлової системи. Як приклад можна вказати, що дитину ніхто не відпустить самостійно гуляти по великому місту, коли вона не знає своєї адреси. Перше, чому вчать дитину ще до школи, щоб вона знала, хто вона така, як її звати і де вона живе. Аналогічна ситуація і при роботі на комп’ютері. Не вдаючись у всі деталі розміщення інформації на комп’ютерних носіях, розглянемо головні положення файлової системи.

Файл – це іменована область на носії інформації.

Кожен файл має своє ім’я, містить певну інформацію, розміщується на певному місці носія інформації. На носії інформації, в якості якого найбільш часто виступає магнітний чи оптичний диск, поверхня розбита на доріжки й сектори. Сектор однієї доріжки називають кластером. В одному кластері міститься інформація тільки одного файла, а інформація файла може займати певну кількість кластерів. Кожен диск має початковий (або boot) сектор і таблицю розміщення файлів (точніше 2 екземпляри таблиці). У цій таблиці вказано, в яких кластерах

розміщується файл. Файл має ім'я і користувач, для відшукування файла, повинен вказати це ім'я.

Ім'я файла - це унікальне найменування файла, яке має дві частини: власне ім'я і розширення. Власне ім'я і є найменуванням файла. Найменування файла і розширення розділяються крапкою. В операційній системі MS DOS власне ім'я повинно мати не більше 8 символів: літер латинської абетки, чи цифр. Розширення файла має до 3 символів і відділяється від власного імені крапкою. Розширення несе інформацію про тип файла. Типів файлів багато. Серед них слід виділити типи файлів, які безпосередньо несуть команди для виконання мікропроцесором, а саме: *.exe, *.com, *.bat. (тут знак * - зірочка замінює власне ім'я файла). Інші файли (файли, що мають інше розширення) є файлами тих чи інших прикладних пакетів і читаються в переважній більшості за допомогою цих програм. Так, *.txt – текстовий файл, *.doc – файли текстового редактора WORD, jpg – файли зображення, wav – звукові файли і т.п. Операційна система має можливість розрізняти розширення файлів і автоматично запускати програми, для яких ці файли призначені. В операційній системі WINDOWS допускається використання розширених власних імен файлів, тобто ім'я файла може мати більше 8 символів і в імені можуть використовуватись також літери кирилиці й деякі допоміжні знаки клавіатури.

Адреса файла вказує шлях його пошуку. Для того, щоб розмістити файли на диску, одного імені не достатньо, оскільки файлів може бути велика кількість і орієнтуватись по імені важко. Для спрощення пошуку групи файлів об'єднують і розміщують під одним іменем, яке має назву каталогу (інколи папка, або директорія, від англійського позначення DIR) Декілька каталогів, у свою чергу, можуть бути об'єднані і розміщені під одним іменем у новій папці (каталозі). У результаті одержується ієрархічна структура розміщення каталогів і підкаталогів. Повна адреса вказує послідовно імена каталогів (папок), в яких розміщено файл, починаючи з самого першого каталогу на диску до останнього (більш низького). На першому місці в повній адресі записують ім'я диску. Усім дискам присвоюються імена в порядку літер абетки (англ.). Позначаються диски літерою з двокрапкою, а саме a:, b:, c:, d:, ... Літерами a: та b: позначають гнучкі диски, літерою c: - вінчестер. Вінчестер може бути розбитий на логічні диски, тоді їм присвоюються імена d:, e:, f: ... Аналогічно присвоюються імена оптичним дискам. Після запису імені диску в адресі йде позначення кореневого каталогу у вигляді нахиленої зліва направо риски \ - "слеш". Кореневий каталог - це початковий каталог усякого диску. Далі вказують імена каталогів у порядку їх слідування. Імена каталогів розділяють таким

же значком “слеш”. На останній позиції записують власне ім'я файла з розширенням (або без нього, якщо таких файлів тільки один і зрозуміло який файл треба вибрати). Наприклад:

a:\get\gr23\system.txt.

Тут вказана повна адреса текстового файла system.txt, який розміщений на диску a: в каталозі get, підкаталозі gr23. Під час запису імен файлів та каталогів комп'ютер не розрізняє заголовних літер від прописних, наприклад, адреса

a:\Get\Gr23\SYSTEM.txt

буде тотожна попередній адресі.

Крім повної адреси розрізняють поточну адресу. Поточна адреса використовується для скорочення запису адреси, і спрощення пошуку файла. Вона записується відносно робочого каталогу. Робочим називають каталог, в якому в даний момент часу працює система (знаходиться файл, з яким працює система). У нашому прикладі після виклику файла system.txt робочим стане каталог gr23. Для зображення розміщення каталогів на диску використовують дерево каталогів. Фрагмент дерева каталогів зображено на рис. 21.

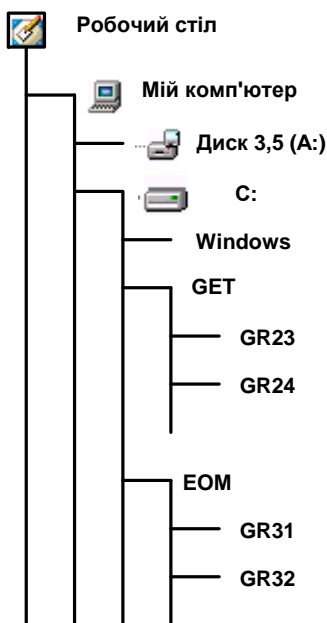


Рис. 21 - Фрагмент дерева каталогів

Якщо ми працюємо в каталозі gr23 і потрібно знайти інший файл у тому ж каталозі, то поточною адресою буде тільки ім'я файла, а каталог можна не вказувати.

Для прискореного пошуку файлів і спрощення адресації служить команда .. (дві крапки), яка означає перехід в каталог, розміщений вище робочого. Якщо, наприклад, відповідно до схеми каталогів (рис.21) треба знайти файл analiz.txt у каталозі gr24, а робочим є каталог gr23, то поточною адресою буде

..\gr24\ analiz.txt.

Тут знак .. означає перехід на каталог, що знаходиться вище в дереві каталогів. За такою адресою комп'ютер буде відшукувати файл analiz.txt наступним чином: з робочого каталогу gr23 по команді .. перейде в каталог get, далі ввійде в каталог gr24 і там відшукає файл analiz.txt.

Як видно з наведеного, адресація файлів аналогічна поштової адресації.

Атрибути файлу. Крім імені файла і адреси до атрибутів файла відносять також розмір, дату створення і ознаку файлу. Розмір – це кількість інформації в байтах, що міститься у файлі. Дата створення зрозуміла без пояснень. Ознака може вказувати, що файл допускає тільки читання, що файл є скритий і в звичайному режимі його ім'я не виводиться.

Під час роботи на комп'ютері необхідно дотримуватись правил адресації. Для виконання роботи, особливо в навчальних класах, треба створити свій каталог і всі результати роботи розміщувати тільки у створеному каталозі. В іншому випадку дисковий простір комп'ютера засмічується різноманітними, невідомо чіми файлами і відшукати потрібний файл буває важко.

4. Прикладні програми загального використання та системного аналізу

Прикладні програми - це програми, розроблені окремими авторами і призначені для вирішення певних прикладних задач. Вони розробляються на конкретних мовах програмування, яких налічується декілька сотень. Робота з такими програмами практично не вимагає знання конкретних мов програмування, оскільки вони розроблені з розрахунком на користувачів, які володіють знаннями в певній предметній галузі. Проте знання предметної галузі, для якої розроблені ці

програми, є необхідним, оскільки користувач за їх допомогою вирішує конкретні завдання. У нашому випадку необхідними є знання основ системного аналізу та особливостей моделей, які потрібно буде створювати. Крім цього кожен користувач повинен знати основи роботи на комп'ютері, що входять у загальну комп'ютерну грамотність.

Прикладних програм, або пакетів програм, створено сотні тисяч, а може й мільйони і їх кількість безупинно зростає. Кожен програміст може створити свою програму, чи пакет програм і працювати з ними. Але існує багато прикладних програмних продуктів, розроблених комп'ютерними фірмами, що знайшли широке використання. Такі програмні продукти встановлюються за ліцензіями фірм – виробників і використовуються досить широко. Найбільш відомим є пакет програм Microsoft office. У нього входять програми текстового редактора Word, електронної таблиці Excel, графічного редактора, системи керування базами даних і декілька інших. Володіння вказаними програмами є обов'язковим і визначає комп'ютерну грамотність. Графічний редактор, що входить у пакет Microsoft office, має обмежені можливості, тому доцільно використовувати більш досконалі пакети графіки, серед яких слід відмітити пакет Visio та систему Auto CAD.

Крім програм пакету Microsoft office ми в подальшому будемо працювати з програмними продуктами фірми Platinum, а саме з пакетами VPwin та ERwin. Це програмні продукти, що служать для вирішення конкретних задач системного аналізу, а саме побудови деяких типів моделей і генерації програмних продуктів, заснованих на цих моделях. Напрямок розробки програмного забезпечення для вирішення завдань системного аналізу, для аналізу, розробки й проектування систем різної складності, переважно інформаційних, відомий як CASE – технології (комп'ютерні засоби проектування інформаційних систем) (Computer-Aided Software System Engineering). Він призначений для максимального спрощення, систематизації та автоматизації всіх етапів аналізу і створення програмного забезпечення інформаційних систем різного призначення. Він об'єднує велику кількість технологій та інструментальних засобів.

Контрольні запитання

1. З яких основних частин складається комп'ютер?
2. Які види пам'яті комп'ютера Ви знаєте?
3. Для чого служить блок CMOS?
4. Які пристрої комп'ютера відносяться до зовнішніх, а які до внутрішніх?

5. Що називають файлом?
6. Які основні характеристики комп'ютера?
7. Що входить в поняття атрибути файлу?
8. Які імена файлів допускає операційна системи MS DOS?
9. Яке призначення операційної системи комп'ютера?
10. Наведіть приклади повної і поточної адреси файла.
11. Які програми називають прикладними?
12. Які найбільш поширені операційні системи Ви знаєте?
13. Як позначається кореневий каталог?
14. Яке значення має знак \ (слеш) в різних позиціях адреси файла?
15. Які розширення імен файла Ви знаєте, до яких типів файлів вони відносяться?