



МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кафедра “Мости”

ВСТУП ДО СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Конспект лекцій

Укладачі:

М.І. Казакевич

Д.О. Банніков

Для студентів будівельних спеціальностей всіх форм навчання

Дніпропетровськ 2001

Казакевич М.І., Банніков Д.О. Вступ до системного аналізу: Конспект лекцій / Дніпропетр. держ. техн. ун-т залізнич. трансп. Дніпропетровськ, 2001. - 54 с.

Конспект лекцій містить базові поняття і терміни, основні прийоми і методи сучасного системного аналізу, головні особливості і задачі роботи системного аналітика. Матеріал ілюструється великою кількістю прикладів із вітчизняної та закордонної літератури з даної проблематики. Рекомендується як додатковий посібник для студентів в ході опрацювання курсу “Вступ до системного аналізу”.

Конспект лекцій призначено для студентів будівельних спеціальностей вищих навчальних закладів всіх форм навчання.

Іл. 4. Табл. 4. Бібліогр. - 6 назв.

Друкується за рішенням кафедри (протокол №9 від 25.09.01).

Рецензенти:

кафедра “Мости” (ДІІТ)
кафедра “Металеві та дерев’яні
конструкції” (ПДАБА)

доц. В.М. Косяк

проф. В.В. Кулябко

@ Дніпропетровський
державний технічний
університет залізничного
транспорту, 2001

Вступ

У даному посібнику зроблено спробу досить докладно поетапно розглянути весь процес сучасного системного аналізу, починаючи від виникнення проблеми, її формулювання і закінчуючи впровадженням у життя вже готових рішень. Однак до поля уваги не потрапив цілий ряд окремих специфічних операцій системних досліджень, таких як дослідження інформаційних потоків систем, їхніх ресурсних можливостей тощо. Нерозглянутими залишилися і досить складні окремі аспекти основних етапів вирішення проблем - вибір в умовах невизначеності, динамічні моменти в теорії систем і т. ін. Це пов'язано з тим, що в рамках даного курсу, звичайно, немає можливості розглянути все різноманіття методів і задач, пов'язаних із системним аналізом. Та це і не потрібно, оскільки він різноманітний настільки, наскільки різноманітним є навколишній світ.

Автори намагалися дати лише базові поняття і моменти, розглянути основні прийоми і методи системного аналізу, виявити головні особливості і задачі роботи системного аналітика. Але дане видання ні в якому разі не може замінити спеціально орієнтованої літератури з системних підходів до рішення сучасних технічних і соціотехнічних проблем, а тим більше – професійні видання з окремих аспектів цієї проблематики. Не випадково даний курс називається “Вступ до системного аналізу”. Він є лише первісним, вступним керівництвом до дій. В міру ж придбання досвіду і кваліфікації, у процесі вирішення конкретних практичних проблемних ситуацій фахівцем будуть освоюватися і нові методи, прийоми, накопичуватися нові знання, іноді із самих несподіваних сфер людської діяльності. Однак усі вони повинні нанизуватися на базовий стрижень - системність. Саме це автори і спробували показати в ході викладу даного курсу. І якщо знайдуться люди, які, ознайомившись з цим курсом, побажають поглибитися хоча б в деякі його аспекти, автори будуть вважати своє завдання виконаним.

1. Роль системних уявлень в практичній діяльності людини

1.1. Попередні зауваження

Одним з напрямків гуманітаризації вищої освіти, подолання крайностей технократизму, розвитку системного мислення інженерів є введення в навчальний план багатьох вузів ряду синтетичних між- та наддисциплінарних курсів. Одним з них є курс системного аналізу. Він призначений в першу чергу для студентів інженерних спеціальностей, зв'язаних із проектуванням систем різного призначення.

Сучасний системний аналіз є прикладною наукою, що має метою з'ясування причин реальних складнощів, які виникають перед “володарем проблеми” (конкретна організація, підприємство, колектив, індивід), і вироблення варіантів їхнього усунення. У найбільш розвинутій формі системний аналіз включає і безпосереднє практичне поліпшуюче втручання в проблемну ситуацію.

Основною ідеєю системного аналізу є розгляд будь-якої групи взаємозалежних об'єктів, окремих об'єктів і навіть процесів як систем різного рівня складності. Такий підхід називають системним. Системність, як ми побачимо далі, є загальна властивість Природи, матерії, форма її існування, а значить - і невід'ємна властивість людської практики, включаючи мислення. Однак усяка діяльність може бути більш або менш системною. Поява проблеми - ознака недостатньої системності, вирішення її - результат підвищення системності.

Бажаність і необхідність підвищення системності (вирішення проблем) виникає у всіх мислимих сферах людської діяльності, включаючи й інженерну. І тут потрібно ще раз відзначити **базовий принцип системного аналізу - системний підхід до вирішення проблем**, що означає максимальне прийняття до уваги всього набору різних факторів, зв'язаних з даною проблемовміщуючою системою, і використання для їхнього аналізу й обробки цілої системи процедур і методів. До них відносяться і строго формалізовані операції (оптимізація, прийняття рішень, передача інформації), і спрямовані на формалізацію (експериментальні дослідження, побудова моделей), і слабо формалізовані (експертні оцінки, колективний вибір), і в принципі неформалізовані операції (формулювання проблем, виявлення цілей, визначення критеріїв, генерування альтернатив).

У даному курсі ми розглянемо основні поняття і методи прикладного системного аналізу. Сюди відносяться і загальні фундаментальні поняття (система, модель, інформація та ін.), і найважливіші конкретні поняття (емерджентність, системність), і поняття, специфічні

для системного аналізу (декомпозиція, агрегування, конфігуратор, проблематика та ін.). Зміст кожного з них буде розкрито по мірі появи в ході подальшого викладу.

1.2. Роль системних уявлень в практичній діяльності

Наша перша задача в даному курсі буде - показати, що **людська практика є системною**. Далі ми будемо докладно і всебічно розглядати ознаки системності, а зараз відзначимо тільки найбільш очевидні й обов'язкові з них: **структурованість системи, взаємозв'язок її складових частин, підпорядкованість організації всієї системи визначеній меті**.

Як приклад системи розглянемо саму досконалу відому на сьогоднішній день науці природну систему - людину. Розуміння того, що людина - це склада, досконаліша система прийшло далеко не відразу. У різні часи й у різних народів людину розглядали і як центр буття (античність), і як вінець творіння Бога (релігії), і як механічний автомат (механіцизм), і як "мислення, що пізнає" (німецька класична філософія). Найбільш близько до сучасних уявлень про людину підійшли філософи Сходу, що розглядали її як частину Космосу, Мікрокосмос, керовану духом. Лише тільки в II пол. XX ст. у зв'язку з розвитком системних уявлень про світ ідеї системності були перенесені на людину.

Вище були перераховані основні ознаки системності. Простежимо їх стосовно людини. Людина як система складається з безлічі підсистем - нервової, серцево-судинної, травної, м'язової, імунної, кісткової, дихальної і т. д., які складаються, в свою чергу, з ще більш дрібних підсистем і далі - окремих елементів (органів), що також складаються з підсистем - кліток, тобто структурованість у наявності. Кожна з цих підсистем нерозривно пов'язана з іншими (друга ознака). Так, м'язова система в буквальному значенні зв'язана з кістковою, утворюючи підсистему більш високого рівня - опорно-рухову. Для самої можливості її функціонування необхідні робота і травної системи, що забезпечує живильні речовини, і серцево-судинної, що забезпечує їхню доставку, і нервової, що керує всіма цими процесами. Порушення в роботі однієї якої-небудь системи миттєво відображається на роботі інших, приводить до перерозподілу внутрішнього навантаження в організмі на інші системи і, в остаточному підсумку, - до підвищення їхнього зносу. Вихід же з ладу однієї із систем приводить до катастрофічних змін в організмі, що часто закінчується розпадом самої системи (смертю). Так, у медицині відомо, що у людині з порушеним зором загострюється слух, дотик; людина, що втратила ногу, проживе менше, ніж з обома ногами. Така системна організація людини не випадкова. Вона максимально раціональна з точки зору можливості існування людини

в природних умовах Землі, тобто чітко простежується третя базова ознака системності. Розуміння системної організації людини дозволяє ефективно коректувати життєві процеси, що відбуваються в неї. Розгляд же людини з будь-яких інших позицій - величезна помилка.

Стосовно людської діяльності перераховані вище ознаки системності також легко можуть бути виявлені: усяка наша дія переслідує визначену мету, у всякій дії легко побачити її складові частини - більш дрібні дії, що повинні виконуватися не довільно, а у визначеній послідовності.

Така побудова діяльності зветься алгоритмічність. Поняття **алгоритму** виникло спочатку в математиці та означало завдання точно визначеної послідовності операцій, які однозначно розуміються, над числами або іншими математичними об'єктами. В останні роки стала усвідомлюватися алгоритмічність будь-якої діяльності, навіть на перший погляд неалгоритмізуємої, - винахідництва, твору музики. В системному аналізі робиться відхід від математичного розуміння алгоритму. Допускається, що в ньому можуть бути присутні і неформалізовані операції (інтуїтивний вибір варіанта і т. п.), важливо лише, щоб цей етап алгоритму успішно виконувався людиною, може навіть і неусвідомлено. Цікава у зв'язку з цим думка Р.Х. Заріпова: "переважна більшість елементів творчої діяльності, що реалізується людиною ... "інтуїтивно", дійсно є неусвідомленою реалізацією деяких алгоритмізуємих закономірностей, ... неусвідомлених, але об'єктивно існуючих та формалізуємих критеріїв краси і смаку". Краса ж останнім часом трактується як гармонія світу, що уловлюється людиною інтуїтивно.

Таким чином, ми бачимо, що всяка діяльність є алгоритмічною, хоча і не завжди алгоритм її усвідомлюється. Можливу ж причину незадоволеності результатом діяльності варто шукати в недосконалому алгоритмі, усувати його "слабкі місця", тобто підвищувати системність діяльності.

Роль системних уявлень в практиці постійно збільшується, росте сама системність людської практики. Останнє зручно проілюструвати прикладом підвищення продуктивності праці.

Найпростіший і історично перший спосіб підвищення ефективності праці - механізація. Людина озброюється механізмами - від найпростіших знарядь і пристосувань, що приводяться в дію м'язовою силою, до складних машин. За допомогою їх одна людина виконує фізичну роботу, котру інакше довелось б виконувати багатьом людям. Однак механізація має природну межу: роботою механізмів керує людина, а її можливості обмежені фізіологічно. Машина не повинна мати дуже багато приладів - у людини всього двоє очей, лопату не можна

робити занадто великою - піднімати її буде людина. Сама людина є "вузьким місцем" механізації.

Рішення проблеми полягає в тому, щоб взагалі виключити участь людини з конкретного виробничого процесу, тобто покласти на машини не тільки виконання самої роботи, але і виконання операцій по регулюванню ходу роботи. Технічні пристрої, що об'єднали ці дві функції, називаються автоматами і спосіб підвищення продуктивності праці (він же є другим рівнем системності суспільного виробництва) - автоматизацією. Однак і в неї теж існує природна межа: у реальному житті досить часто приходиться зіштовхуватися з непередбаченими умовами і з неможливістю повної формалізації багатьох практичних дій (процес керівництва людськими колективами, медичне втручання в життєдіяльність організму людини), коли мають місце складні системи.

При рішенні таких проблем і виник третій рівень системності практичної людської діяльності - кібернетизація, оскільки саме кібернетика першої серед інших підходів стала претендувати на наукове рішення проблем керування складними системами (хоча і вона виправдала не всі надії). Співвідношення між цими трьома розглянутими рівнями організації праці ілюструє рис. 1.

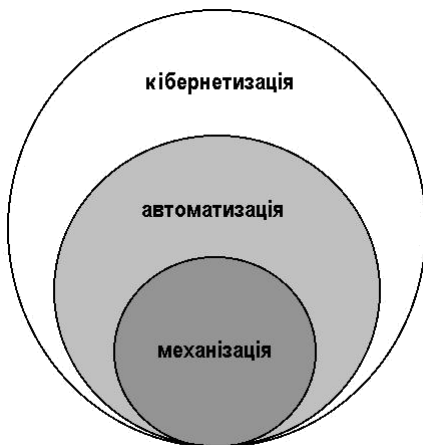


Рис. 1. Схема етапів підвищення продуктивності праці

Основна ідея вирішення проблем, пов'язаних зі складними системами, полягає в тому, щоб у тих випадках, коли автоматизація (тобто формальна алгоритмізація) неможлива, використовувати ту людську здатність, що називається **інтелектом** - здатність орієнтуватися в незнайомих умовах і вирішувати слабко формалізовані задачі.

1.3. Системність – загальна властивість матерії

Однак і сам інтелект, і людське мислення також системні. Системним є і сам процес пізнання (уже хоча б тому, що він є невід'ємною частиною людської практики, що носить, як уже з'ясовано, системний характер) і навіть знання, добуті людством.

Усвідомлення всього цього прийшло тільки в II пол. XX ст., але це зовсім не означає, що “мислення стало системним тільки зараз”, а раніш воно носило “несистемний характер”. Мислення системне завжди й іншим бути не може. Це пов'язано з необхідністю пізнання нескінченного світу кінцевими засобами людського мозку, що можливо лише при системній організації мислення. Заради справедливості помітимо, що існують світоглядні позиції, які заперечують об'єктивну пізнанність світу і навіть саме його існування (агностицизм, суб'єктивний ідеалізм). Оскільки ці концепції в даний час вважаються застарілими і неадекватними накопиченим людством знанням, то автори продовжують виклад матеріалу з попередніх позицій.

Системність мислення, насамперед, виявляється в його структурованості, зокрема, у виділенні підпроцесів аналізу і синтезу. Суть **аналізу** полягає в поділу цілого на частини, у представленні складного у вигляді сукупності більш простих компонентів. Але щоб пізнати ціле, складне необхідний і зворотний процес - **синтез**. Ці два процеси нерозривно зв'язані між собою і в цілому підпорядковані одній меті - пізнанню. Дуже наочно описане вище простежується на прикладі існування різних наук, їхньої диференціації, в чому знаходить своє відображення аналітичність людського знання. Разом з тим існує і зворотний процес синтезу знань, що виявляється у виникненні “прикордонних” наук (біохімія, фізикохімія і т. ін.) і “наднаук” - філософія, кібернетика, сам системний аналіз.

Із розвитком науки в цілому і накопиченням все більшого обсягу знань прийшло розуміння того, що системні не тільки людська практика і мислення, але і сама Природа, весь Всесвіт. Ще в XVII ст. Б. Спіноза вважав, що “...порядок і зв'язок ідей ті ж, що й порядок і зв'язок речей, оскільки субстанція мисляча і субстанція протяжна складає ту ж саму субстанцію”. У XX ст. Кант пише: “...закон розуму, що вимагає шукати цю єдність, є необхідним, оскільки без нього ми не мали б ніякого єдиного застосування розуму, ... через що ми повинні ... припустити систематичну єдність природи неодмінно як об'єктивно значиме і необхідне”. Ми бачимо, що більшість подібних аргументів носить філософський характер і виходять з розгляду взаємодії людини з природою. В останні ж десятиріччя додалися природно-наукові аргументи об'єктивної системності природи (теорія І. Прігожина).

Сучасні наукові дані і сучасні системні уявлення дозволяють говорити про світ як про нескінченну ієрархічну систему систем, що знаходяться в розвитку і на різних стадіях розвитку, на різних рівнях системної ієрархії. Таким чином, системність є настільки загальною властивістю матерії, що її можна назвати формою існування матерії. Відомі форми існування матерії - час, простір, рух, структурованість - являють собою прояву, аспекти системності світу.

2. Розвиток системних уявлень

2.1. Історичні віхи розвитку системних уявлень

Історія розвитку системних уявлень спочатку йшла по декількох окремих напрямках. Із різних вихідних позицій наближались до сучасного розуміння системності філософська думка і конкретно-практична наукова і технічна методологія. У своєму русі до єдиної об'єктивної істини вони неминуче повинні були зійтися, зіставити результати, зрозуміти спільність і розходження. Свідками й учасниками цього етапу злиття наукового знання ми і є.

Цікаво відзначити, що філософія приблизно на сто років раніше вийшла в "район зустрічі", на вищу позицію в усвідомленні системності матерії, свідомості і їхнього відношення. Результати філософії відносяться до безлічі всіх існуючих і мислимих систем, носять загальний характер.

У світлі сучасних уявлень системність завжди, усвідомлено або неусвідомлено, була методом будь-якої науки; будь-який вчений минулого, не маючи навіть на увазі системи і моделі, саме з ними і мав справу. Філософія, логіка, підстави математики - області, у яких суперечки з системних проблем ідуть у глиб століть. Однак для нас особливий інтерес представляють ті моменти в історії, коли системність привертала увагу як об'єкт дослідження.

Першим в явній формі питання про науковий підхід до керування складними системами поставив М.-А. Ампер. При побудові своєї класифікації всіляких наук він виділив спеціальну науку про керування державою і назвав її кібернетикою. При цьому Ампер не тільки позначив необхідне місце для кібернетики в ряді інших наук, але і підкреслив основні її системні особливості: "Постійно уряду приходиться вибирати серед різних мій ту, котра найбільше всього придатна до досягнення мети ... і лише завдяки заглибленому і порівняльному вивченню різних елементів, які доставляються йому для цього вибору, знанням усього того, що стосується керованого їм народу, - характеру,

поглядів, історії, релігії, засобів існування і процвітання, організацій і законів, - може воно скласти собі загальні правила поведінки, що керують їм у кожному конкретному випадку. Цю науку я називаю кібернетикою від слова κυβερνητική, що позначало спершу, у вузькому змісті, мистецтво керування кораблем, а потім поступово набувшого у самих греків набагато більш широке значення мистецтва керування взагалі”.

Ампер тільки ще прийшов до висновку про необхідність кібернетики, а Б. Трентовській, польський філософ-гегельянець, вже ставив метою побудову наукових основ практичної діяльності керівника (“кібернета”). Він підкреслював, що дійсно ефективне керування повинне враховувати всі найважливіші зовнішні і внутрішні фактори, що впливають на об’єкт керування: “При одній і тій же політичній ідеології кібернет повинен керувати по-різному в Австрії, Росії або Пруссії. Точно також і в одній і тій же країні він повинний керувати завтра інакше, чим сьогодні”. Головна складність в керуванні, по Трентовському, зв’язана зі складністю поведінки людей. Він розумів, що суспільство, колектив та й сама людина - це система, єдність протиріч, рішення яких і є розвиток. Тому кібернет повинен вміти, виходячи із загального блага, одні протиріччя приміряти, інші - загострювати, направляючи розвиток подій до потрібної мети: “Люди - не математичні символи ... і процес керування - не шахова партія. Недостатнє знання цілей і прагнень людей може перекинути будь-яку логічну побудову. Людсьми дуже важко командувати і наказувати їм наперед задані дії. Наказ, якщо кібернет повинен його віддавати, завжди повинен формулюватися чітко. Виконуючому завжди повинен бути зрозумілий зміст наказу, його мета, результат ... і кара, що може піти за невиконанням, - останнє обов’язково”.

І все-таки суспільство середини минулого століття виявилось не готовим сприйняти ідеї кібернетики. Практика керування ще могла обходитися без науки керування. Кібернетика народилася занадто рано і була позабута.

Наступна ступінь у вивченні системності як самостійного предмета зв’язана з ім’ям О.А. Богданова (дійсне прізвище - Маліновський). На початку XX ст. вийшла в світ його книга “Загальна організаційна наука (тектологія)”. Велика спільність тектології і кібернетики пов’язана з ідеєю Богданова про те, що всі існуючі об’єкти і процеси мають визначений рівень організованості. На відміну від конкретних природничих наук, що вивчають специфічні особливості організації конкретних явищ, тектологія повинна вивчати загальні закономірності організації для всіх рівнів організованості. Усі явища розглядаються як безперервні процеси організації і дезорганізації. Богданов довів динамічні аспекти тектології до розгляду проблеми криз, тобто таких моме-

нтів в історії будь-якої системи, коли неминуча корінна, “вибухова” перебудова її структури. Він підкреслював роль математики як потенційних методів рішення задач тектології.

Навіть із швидкого огляду основних ідей тектології видно, що Богданов передбачив, а в чомусь і перевершив, багато положень сучасних кібернетичних і системних теорій. Талановитий медик, що все-рйоз зацікавився філософією, був підданий В.І. Леніним твердій критиці, після чого Богданов відійшов узагалі від усякої філософії, включаючи власну.

По-справжньому явне і масове засвоєння системних понять, суспільне усвідомлення системності світу, суспільства і людської діяльності почалося в 1948р., коли американський математик Н. Вінер опублікував книгу під назвою “Кібернетика”. Спочатку він визначив кібернетику як “науку про керування і зв’язок у тваринах і машинах”. Однак дуже швидко стало ясно, що таке визначення, що сформувалося завдяки особливому інтересу Вінера до аналогій процесів у живих організмах і машинах, невинувато звучує сферу застосування кібернетики. Вже в наступній своїй роботі він аналізує з позицій кібернетики процеси, що відбуваються в суспільстві.

Спочатку кібернетика привела багатьох вчених у замішання: виявилось, що вона береться за розгляд і технічних, і біологічних, і економічних, і соціальних об’єктів і процесів. Виникла навіть суперечка - чи має кібернетика свій предмет дослідження. Перший міжнародний конгрес з кібернетики в Парижі (1956р.) навіть прийняв пропозицію вважати її не наукою, а “мистецтвом ефективної дії”. У нашій країні кібернетика була зустрінута насторожено і навіть вороже, і, зрештою, оголошена ідеалістичною лженаукою. Це на багато років відкинуло СРСР від всього освіченого наукового світу.

У подальшому становленні кібернетики важливу роль зіграли визначення, сформульовані в період гарячих дискусій про її суть: **кібернетика - наука про оптимальне керування складними динамічними системами** (А.І. Берг); **кібернетика - наука про системи, що сприймають, зберігають, переробляють і використовують інформацію** (А.Н. Калмогоров). Ці визначення визнані досить загальними і повними.

Паралельно і як би незалежно від кібернетики прокладається ще один підхід до науки про системи - **загальна теорія систем**. Ідея побудови теорії, застосовної до систем будь-якої природи, була висунута австрійським біологом Л. Берталанфі. Один зі шляхів реалізації цієї ідеї він бачив у тому, щоб відшуковувати структурну подібність законів, встановлених у різних дисциплінах і, узагальнюючи їх, виводити загальносистемні закономірності.

Сучасний “прорив у незнане” при дослідженні систем зроблений бельгійською школою на чолі з І. Пригожиным. Розвиваючи термодинаміку нерівноважних фізичних систем (за результати цих досліджень Пригожину було присуджено Нобелівську премію в 1977р.), він незабаром зрозумів, що виявлені ним закономірності відносяться до систем будь-якої природи. Поряд з перевідкриттям вже відомих положень Пригожин запропонував нову, оригінальну теорію системодинаміки. Найбільший інтерес викликають ті її моменти, що розкривають механізм самоорганізації систем.

У такий спосіб ми бачимо, що нарощування системності знань - природний процес, що відбувається у всіх областях людської діяльності стихійно. У кожній з них на якомусь етапі відбувається усвідомлення того, що досліджуваний об'єкт або система в цілому підкоряються таким же закономірностям, як і в інших областях, що іноді навіть вважалися несумісними. Так, зверніть увагу на спеціальності класиків системності: Ампер - фізик, Трентовський - філософ, Богданов - медик, Вінер - математик, Берталанфі - біолог, Пригожин - фізик, Калмогоров - математик, Берг - військовий інженер. Чи можна краще проілюструвати загальність системності природи?

2.2. Формування системного аналізу як окремої науки

В II пол. XX ст. виникла ідея узагальнити усі факти, поняття, закономірності, методи дослідження різних систем, що було накопичено, в один надметод, наднауку - системний аналіз. Для нього не має значення, яка природа даної системи, тобто чи є вона фізичною, біологічною, економічною, організаційною або навіть уявлюваною, нереальною системою, хоча, звичайно, при її вивченні на якомусь етапі буде потрібно врахувати її конкретні властивості. Тому системний аналіз використовується в зовсім різномірних сферах і для рішення самих різних проблем, але з єдиних позицій.

Дотепер продовжуються суперечки, чи можна системний аналіз вважати наукою, мистецтвом або “технологічним ремеслом”. Особливо гостро дискутується його придатність до соціотехнічних систем, де вирішальну роль грають люди, оскільки при рішенні таких проблем велике значення мають чисто психологічні аспекти людських взаємин. Це ще більш віддаляє системний аналіз від “чистих наук” типу фізики і математики.

Спочатку метою системного аналізу вважався лише обґрунтований вибір одного варіанта рішення з декількох. Це пов'язано з формуванням системного аналізу в роки другої світової війни, коли з'явився ряд специфічних проблем. Так, наприклад, у процесі випуску літаків виникла необхідність чітко погоджувати терміни виготовлення і доста-

вки деталей різними спеціалізованими фірмами до місця зборки. Число фірм іноді перевищувало сотню, і при масовому виробництві дана проблема виростала до величезних розмірів. Саме для рішення такого роду задач потрібен був розвиток методів дослідження складних систем - теорія дослідження операцій, теорія графів, витрати-вигоди та ін., а сам системний аналіз носив суто математизований характер.

В останній чверті XX ст. значно розширився спектр застосування методів системного аналізу. Він почав використовуватися для рішення таких “нематематизуємих проблем”, як забруднення навколишнього середовища, транспортні потоки, планування використання землі, медичне обслуговування, криміналістика. Це стало можливим завдяки введенню в арсенал системного аналізу неформалізованих, евристичних методів, запозичених із соціальних наук (метод мозкового штурму, метод “Делфі”), більш всебічному дослідженню проблем. Однак практично відразу таке розширення сфери застосовності системного аналізу викликало критику. Це було пов'язано з дуже незначним впливом досліджень соціальних систем на навколишній світ з-за недосконалості моделей і методів, які використовувалися.

Ще один якісний крок був зроблений при усвідомленні того, що системно потрібно підходити не тільки до вирішення самої проблеми, але і самого її формулювання, розробки варіантів можливих рішень і навіть - їхньої практичної реалізації.

Такий максимально загальний підхід, з використанням максимальної кількості всіляких методів дослідження, чітко співвіднесених між собою і підпорядкованих одній кінцевій меті - рішенню проблеми, і пропонує сучасний системний аналіз. На Заході навіть існує така професія - системний аналітик - особа, спеціально навчена всьому різноманіттю методів і ідей системного аналізу і здатна вирішити практично будь-яку проблему в будь-якій галузі.

Для ілюстрації ефективності системного аналізу приведемо один показовий приклад. Була поставлена задача знайти найкраще місце розташування нової школи в даному районі. Вирішити її запропонували двом групам людей - фахівцям-професіоналам в області містобудування і системним аналітикам. У першому випадку рішення було видано на основі врахування тільки специфічних містобудівних факторів: розміщення населення, зовнішній вигляд забудови, зручність розв'язки транспортних шляхів та ін. Було зазначено конкретне місце на карті району. У другому ж випадку системними аналітиками в процесі роботи було встановлено, що дійсна мета будівництва школи - підвищення рівня освіти населення, тобто реальна проблема виявилася іншою. У ході тепер вже її дослідження аналітики прийшли до цікавого висновку про те, що головною причиною заниженого рівня

освіти в даному районі є ... непродумане розташування транспортних маршрутів. Виявилося, що через це серйозно зростає вартість продуктів харчування, обладнання, ввозимих до шкіл цього району, а це відбивалося на рівні їхньої оснащеності, зарплаті викладачів. З іншого боку, самі щоденні поїздки вчителів на роботу викликали масу турбот. Як наслідок багато висококваліфікованих викладачів віддавали перевагу школам інших районів із кращими умовами праці й оплати. Так задача про вибір найкращого місця для нової школи трансформувалася в задачу про раціональну прокладку транспортних шляхів. Для її рішення були притягнуті відповідні вузькопрофесійні фахівці.

Таким чином, ми бачимо, що системний підхід до вирішення практичних проблем набагато ефективніше вузькоспеціального, одногобокого підходу, причому сам системний аналітик може бути і, як правило, є не фахівець в області проблеми, що ним вирішується. Його мистецтво і полягає в тому, щоб у потрібний момент залучити необхідні знання експертів із самих несподіваних областей.

3. Система: визначення, структура, класифікація

3.1. Визначення системи

Центральною концепцією теорії систем, кібернетики, системного підходу, усієї системології є поняття **системи**. Воно вже не раз зустрічалося нам у даному курсі. Розглянемо тепер його докладно.

Термін “система” використовують в тих випадках, коли необхідно охарактеризувати якийсь об'єкт як щось ціле, єдине, складне, про яке неможливо відразу дати уяву, показавши його, зобразивши графічно або описавши математичним співвідношенням. Існує кілька десятків визначень цього поняття. Їх аналіз показує, що вони змінювалися не тільки за формою, але і за змістом. Простежимо основні і принципові зміни, що відбувалися з визначенням системи на протязі розвитку теорії систем і використання цього поняття на практиці.

Л. Берталанфі визначав систему як “комплекс взаємодіючих компонентів” або як “сукупність елементів, що знаходяться у визначених відносинах один з одним та із середовищем”. Інше визначення: система є сукупність взаємозалежних елементів, відособлена від середовища і взаємодіюча з ним як єдине ціле. Тут відразу простежуються дві складові системи - елементи і зв'язки. Далі у визначеннях системи з'являється поняття мети. Спочатку в неявному вигляді: система - організована безліч (Ф.Є. Темніков), потім і з явним згадуван-

ням про неї: система є засіб досягнення мети. Цільова підпорядкованість усіх сторін організації системи є головною її властивістю.

У 70-ті роки у визначення системи почали включати спостерігача, тобто особу, яка зображує об'єкт або процес у вигляді системи при їхньому дослідженні або прийнятті рішення: система є відображення у свідомості суб'єкта властивостей об'єктів і їхніх відносин у рішенні задачі дослідження пізнання (Ю.І. Черняк). Так, в організаційних системах, якщо не визначити особу, компетентну приймати рішення, то можливо і не досягти цілей, заради яких створюється система.

Таким чином, система містить у собі елементи, зв'язки, їхні властивості, цілі та спостерігача. До основних же особливостей системи, крім перерахованих у темі 1 структурованості, наявності взаємозв'язку між частинами системи і цільової організації системи, додамо **цілісність, відносну відособленість від навколишнього середовища і наявність з нею зв'язків.**

3.2. Поняття, що характеризують структуру і функціонування систем

Розглянемо тепер основні поняття, що допомагають уточнювати уявлення про систему, оскільки їхнє повсякденне трактування не завжди збігається з їхнім значенням як спеціальних термінів системного опису і аналізу об'єктів.

Елемент. Під цим терміном прийнято розуміти найпростішу неподільну частину системи. Однак відповідь на питання, що є такою частиною, може бути неоднозначною. Наприклад, як елементи столу можна назвати ніжки, шухляди, кришку і т. ін., а можна - атоми, молекули у залежності від того, яка задача постає перед дослідниками. Тому приймемо наступне визначення: **елемент - це межа членування системи з погляду рішення конкретної задачі, поставленої мети.** Це винятково важливий момент, оскільки від кінцевої мети, як ми побачимо далі, залежить не тільки якісний і кількісний склад системи, але і її границі - коли спочатку незрозуміло наскільки сильно зв'язана яка-небудь складова середовища із системою, то по мірі проведення аналізу границя між ними може варіюватися. Трохи перебільшенням прикладом цього може служити невизначеність: у який момент проко-внуту людиною їжу вважати вже частиною його самого.

Компоненти і підсистеми. Іноді термін елемент використовують у більш широкому смислі, навіть коли система не може бути відразу розчленована на складові, які є межею членування. Тоді при багаторівневій структурі складні системи прийнято спочатку поділяти на підсистеми, а якщо останні також відразу важко розділити на елемен-

ти, то – на складові проміжних рівнів (якщо невідомий їхній характер), які називають компонентами системи. Розчленовуючи систему на підсистеми, варто мати на увазі, що також, як і при розчленовуванні на елементи, виділ підсистем залежить від мети і може змінюватися по мірі її уточнення і розвитку уявлень про аналізуємих об'єкт або проблемну ситуацію.

Зв'язок. Поняття зв'язок входить у будь-яке визначення системи (див. вище) і забезпечує виникнення і збереження цілісних її властивостей. Воно одночасно характеризує і структуру (статику) і функціонування (динаміку) системи. **Зв'язки (пов'язи) визначають як обмеження ступенів вільності елементів.** Їх можна охарактеризувати напрямком (спрямовані і неспрямовані), силою (сильні і слабкі), характером (зв'язки підпорядкування, породження, рівноправні, керування). Дуже важливу роль при дослідженні систем грає поняття зворотного зв'язку, що підтримує або протидіє тенденції змін у системі. Досить часто вона реалізується в технічних пристроях, дозволяючи вчасно вносити необхідні зміни в процес їхньої роботи.

Мета (ціль). Поняття мета (ціль) і зв'язані з ним поняття доцільності, цілеспрямованості лежать в основі розвитку системи. Вивченню цих понять велика увага приділяється у філософії, психології, кібернетиці. Протягом усього періоду розвитку теорії пізнання відбувався і розвиток уявлень про ціль. Цілі, що ставить перед собою людина, рідко досяжні тільки за рахунок її власних можливостей або зовнішніх засобів, що мають в неї в даний момент. Такий збіг обставин називається **проблемною ситуацією**. Як правило, проблемність існуючого положення усвідомлюється в кілька стадій: від неясного відчуття, що “щось не так”, до усвідомлення потреби, потім до виявлення проблеми і, нарешті, формулювання мети. **Мета (ціль) - це суб'єктивний образ неіснуючого, але бажаного стану середовища, що вирішило б виниклу проблему.** При цьому в поняття “образ” можна вкладати різні відтінки ступеня можливості його реалізації: мрія - це мета, не забезпечена засобами її досягнення.

Розглянемо тепер поняття, які характеризують структуру системи.

Структура - відбиває окремі взаємозв'язки, взаєморозташування складових частин системи, її скелет. При цьому в складних системах структура відбиває не всі елементи і зв'язки між ними, а лише найбільш істотні, котрі мало змінюються при поточному функціонуванні системи і забезпечують існування системи і її основних властивостей. Іншими словами, структура характеризує організованість системи, сталу упорядкованість її елементів і зв'язків.

Структурні зв'язки мають відносну незалежність від елементів і схожі в системах з різною фізичною природою. Тому виділяють визначені види структур, кожний з яких має свої специфічні особливості і може розглядатися як самостійне поняття теорії систем і системного аналізу. Коротко охарактеризуємо основні з них.

Сіткова структура (рис. 2, а) або граф, являє собою декомпозицію системи в часі. Граф складається з позначень елементів довільної природи - вершини (кружки) і позначень зв'язків між ними - ребра (стрілки). Така структура може відображати порядок дії технічної системи (електрична мережа) або етапи діяльності людини (сітковий графік, сітковий план). Для аналізу складних мереж розроблено математичну теорію графів, прикладна теорія сіткового планування і керування, що обумовлює їх широку поширеність при представленні процесів організації виробництва і керування підприємства в цілому.

Інший вид структур - **ієрархічні** структури (рис. 2, б), що представляють собою декомпозицію системи в просторі. Усі вершини і зв'язки існують у цих структурах одночасно, не рознесені в часі. Такі структури називають також структурами типу дерева. У них важливо лише виділення рівнів співвідпорядкованості, а між ними й у межах рівнів компонентами можуть бути будь-які взаємини. Відповідно до цього в теорії цих структур існують особливі класи багаторівневих ієрархічних структур типу «страт», «шарів», «ешелонів», запропоновані М. Месаревичем. Для кожного рівня існують свої характерні риси, закони і принципи, за допомогою яких описується поведінка системи на цьому рівні. Таке представлення називають стратифікованим. Цікаво, що в загальному випадку термін ієрархія (від грецького *ἱεραρχία*) ширше: він означає співвідпорядкованість і спочатку застосовувався для характеристики взаємин в апараті керування державою, армією і т. п., а потім концепція ієрархії була поширена на будь-який погоджений по підпорядкованості порядок об'єктів.

Третій тип структур - **матричні** (рис. 2, в). Вони можуть бути як двомірними, так і багатомірними і часто відповідають взаєминам між рівнями ієрархічних структур.

Особливо відзначимо структури **з довільними зв'язками** (рис. 2, г). Цей вид структур звичайно використовується на початковому етапі пізнання системи, коли йде пошук способів розчленування її на елементи, немає ясності в характері взаємин між елементами і не можуть бути встановлені не тільки послідовності їхньої взаємодії в часі, але і розподіл елементів по рівнях ієрархії. Такі структури формуються шляхом встановлення можливих відносин між попередньо виділеними елементами системи, і, як правило, після аналізу зв'язки упорядковують і одержують сіткові або ієрархічні структури.

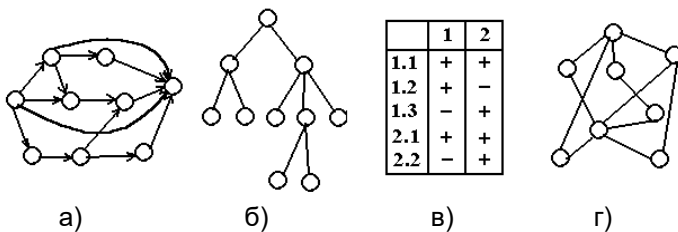


Рис. 2. Види структур:
а) сіткова; б) ієрархічна; в) матрична; г) з довільними зв'язками

Ми розглянули поняття, що характеризують саму систему і її структуру. Тепер перейдемо до понять, зв'язаних з функціонуванням і розвитком систем.

Зміни і перетворення, що відбуваються в складних системах, як правило, відразу не вдається представити у вигляді математичних співвідношень або хоча б алгоритмів. Тому для того, щоб хоч якось охарактеризувати стабільну ситуацію або її зміни, використовуються спеціальні терміни, запозичені з теорії автоматичного регулювання, біології, філософії. Розглянемо основні з них.

Стан. Цим поняттям звичайно характеризують миттєву фотографію, “зріз” системи, зупинку в її розвитку. Так, говорять про стан спокою, про стан рівномірного прямолінійного руху і т. ін.

Поведінка. Якщо система здатна переходити з одного стану в інший, то говорять, що вона має поведінку. Це поняття часто використовують, якщо невідомі закономірності таких переходів.

Рівновага. Дане поняття визначає здатність системи у відсутності зовнішніх впливів або при постійних впливах зберігати свою поведінку як завгодно довго.

Стійкість. Під цим поняттям розуміється здатність системи повертатися в стан рівноваги після того, як вона була з цього стану виведена зовнішнім впливом. Відповідно, можливі стійкі та нестійкі типи станів рівноваги. У першій система може самостійно повернутися, якщо рівень впливу не перевищує деякого граничного значення.

Розвиток. Це поняття допомагає пояснити складні термодинамічні й інформаційні процеси в природі і суспільстві. Дослідженню процесу розвитку, співвідношення розвитку і стійкості, вивченню механізмів, що лежать у їхній основі, приділяють все більшу увагу.

3.3. Класифікація систем

Системи розділяють на класи за різними ознаками, і в залежності від розв'язуваної задачі можна вибирати різні принципи класифікації. Тому будь-яку класифікацію не слід абсолютизувати: вона завжди буде відносна. І це не повинно зупиняти дослідників. Система може бути охарактеризована одночасно декількома ознаками, тобто їй може бути знайдене місце відразу в різних класифікаціях, кожна з яких корисна при виборі методів дослідження.

На початкових етапах розвитку теорії систем були спроби класифікувати системи за видом відображуваного об'єкта (технічні, біологічні, економічні і т. п.) або за видом наукового напрямку, використовуваного для їхнього дослідження (математичні, фізичні тощо). Такий підхід є дуже однобоким і в даний час розроблено понад 20 різних класифікацій систем. Розглянемо найбільш важливі з них.

Відкриті і закриті системи. Поняття відкритої системи вперше ввів Л. Берталанфі. Її основні риси - здатність обмінюватися із середовищем масою, енергією, інформацією. Закриті ж (замкнуті) системи передбачаються цілком позбавленими цієї здібності, з точністю до прийнятої чутливості аналізу.

Прості і складні системи. Складною вважається система, при дослідженні якої не вистачає інформації для ефективного керування нею. Так, кодовий замок для знаючого і не знаючого код буде відповідно проста або складна система.

Великі і малі системи. Системи, дослідження яких важко внаслідок їхньої великої розмірності, вважаються великими. Існує два способи переведення великих систем у розряд малих: розробка більш могутніх обчислювальних засобів або поділ багатомірної задачі на сукупність зв'язаних задач меншої розмірності (наприклад, метод зниження порядку диференціальних рівнянь в математиці). Відзначимо, що великі системи - це не те ж, що складні системи. Велика система може бути як простою (великий набір статистичних даних, оброблюваних електронно), так і складною (мозок).

Неживі і живі системи.

Системи **керовані ззовні, самокеровані і з комбінованим керуванням.**

Системи, процеси в яких **описуються якісними, кількісними або змішаними перемінними.**

Цікава класифікація систем за **ступенем організованості** на добре організовані, погано організовані і які самоорганізуються. Під організованістю системи розуміється наявність і простежування чіткого взаємозв'язку між елементами системи і з її цілями.

Особливе місце займає класифікація за **походженням**. Системи поділяють на штучні - створені людиною (механізми, знаряддя), природні - виниклі в природі без участі людини (ліс, океани), змішані - об'єднуючі підсистеми перших двох типів (рибальський радгосп). І тут виникає цікава ситуація. Як ми встановили раніше, будь-яка система має цільову організацію. Однак природні системи цілей в звичайному розумінні не мають, тобто ми не маємо права поширювати на них поняття "система". Саме тому довгий час різні природні співтовариства і саму людину не розглядали як дуже складні системи. З іншої ж сторони, чітко простежується наявність у природних об'єктів структурованості й упорядкованого взаємозв'язку їхніх частин – найбільш характерних ознак системи. Звідси ж випливає і необхідність заперечувати системність і штучних споруд, якщо невідома мета їхнього створення.

Для вирішення даного протиріччя була висунута ідея узагальнити поняття мети - поряд із суб'єктивними (бажаними станами) вводиться поняття об'єктивної мети як майбутнього реального стану, у яке прийде об'єкт через який-небудь час. Чи означає це, що "не систем" не існує? Так, означає. Інша справа, що ми можемо для спрощення або через незнання розглядати якийсь об'єкт і поводитися з ним, не цілком беручи до уваги його системність. Однак же, рано або пізно такий підхід вилетіть в появу проблеми.

4. Компоненти системних досліджень

4.1. Загальний алгоритм проведення системного аналізу

Ми вже відзначали, що системний аналіз може бути застосовано до систем будь-якої природи, при цьому самі різноманітні задачі вирішуються з єдиних позицій. Сучасні системні аналітики пропонують наступний порядок дій для аналізу будь-яких конкретних систем:

- визначення проблеми і проблематики;
- виявлення цілей;
- формування критеріїв;
- генерування альтернатив;
- побудова і використання моделей;
- вибір (прийняття рішення);
- декомпозиція і агрегування;
- спостереження і експерименти над досліджуваною системою;
- реалізація результатів аналізу.

Кожний з цих етапів ми розглянемо далі докладно. Зараз помітимо, що приведений перелік є досить укрупненим і реально може

мати іншу послідовність операцій, кожна з яких може бути розділена на більш дрібні і т. ін. Все це в кожному конкретному випадку визначається ведучим дослідження системним аналітиком і багато в чому носить індивідуальний, пристосований до даного випадку характер. Так, у найпростіших випадках перераховані вище етапи виконуються лінійно, один за одним. Окремі з них можуть взагалі опускатися або виконуватися лише формально. У більш складних ситуаціях можливе повернення до попередніх етапів (наприклад, для коректування цілей, як у прикладі про будівництво нової школи з розд. 2), тобто циклічне проведення аналізу. В самих складних випадках наступні етапи досліджень часто заздалегідь невідомі і вибираються за результатами попередніх. Відбувається конструювання алгоритму досліджень в ході самих досліджень, причому професійними аналітиками можуть вводитися і зовсім нові процедури з їх особистого арсеналу, що містять випадковий пошук, адаптацію, самоорганізацію і т. п. Відзначимо також, що в наведеному переліку тільки етапи вибору й оптимізації в даний час є формалізованими. Формалізація ж усіх інших дуже проблематична, оскільки вони носять творчий, евристичний характер.

Саме тому системному аналізу притаманні особливості, властиві як науці, так і мистецтву. Д.К. Джонс, говорячи про проектування систем, виразив цю думку так: “Скажемо відразу, що проектування не слід плутати ні з природничими науками, ні з математикою. Це складний вид діяльності, у якому успіх залежить від правильного сполучення всіх цих трьох засобів пізнання; дуже мала імовірність домогтися успіху шляхом ототожнення проектування з одним із них. При рішенні будь-якої задачі необхідно визначене сполучення логіки й інтуїції”.

4.2. Формування проблеми

Постановка формальної задачі, яку треба вирішувати, для традиційних наук - початковий, відправний етап роботи. У дослідженні ж або проектуванні складної системи це проміжний результат, якому передують тривала кропітка і складна робота зі структурування вихідної проблеми.

Перші ж кроки в системному аналізі зв'язані з **формулюванням проблеми**. Хоча необхідність системного аналізу виникає тоді, коли проблема вже не тільки існує, але і вимагає рішення, коли ініціатор системного аналізу (замовник) вже сформував свою проблему, системний аналітик знає, що первісне формулювання - лише дуже приблизний натяк на те, яким саме повинно бути дійсне робоче формулювання проблеми. Має місце ряд причин вважати будь-яке вихідне формулювання лише “нульовим наближенням”, навіть якщо замовник досить конкретний (“Який із запропонованих проектів прийняти до

виконання?”). Головна з них полягає в тому, що проблемовміщуюча система не є ізольованою. Вона зв'язана з іншими системами і входить як частина в деяку надсистему; сама вона також складається з частин, підсистем, у різному ступені причетних до даної проблеми.

Таким чином, до будь-якої реальної проблеми необхідно відноситися не як до окремо узятої, а як до “клубка” взаємозалежних проблем, з огляду на не тільки точку зору замовника, а і позиції інших “зацікавлених” сторін, яких торкнуться можливі зміни (сюди варто включати і тих, хто насправді не зацікавлений у рішенні проблеми і буде проти можливих змін). Використовуючи для позначення цієї сукупності термін **проблематика**, можна сказати, що цей етап формулювання проблеми складається у визначенні проблематики. Таке знаходження системи проблем, тісно пов'язаних з досліджуваною, без урахування яких вихідна проблема не може бути вирішена, відбувається як “вшир”, завдяки виявленню зв'язків проблемовміщуючої системи з над- і підсистемами, так і “вглиб”, у результаті розгляду даної проблеми з різних точок зору і, якщо необхідно, її деталізації.

Наприклад, при аналізі соціотехнічних систем (морський флот) у перелік зацікавлених осіб рекомендують включати:

- 1) клієнта, що ставить проблему, замовляє й оплачує системний аналіз;
- 2) осіб, що приймають рішення, від повноважень яких безпосередньо залежить рішення проблеми;
- 3) учасників як активних, чиї дії будуть потрібні, так і пасивних, на яких позначаються (позитивно або негативно) наслідки рішення проблеми. Кожна із зацікавлених сторін має своє бачення проблеми, відношення до неї, її існування або зникнення приведе до появи їхніх власних проблем;

4) самого системного аналітика і його співробітників, щоб передбачити можливість мінімізації їх впливу на інших зацікавлених осіб.

Таким чином, будуючи проблематику, системний аналітик дає розгорнуту картину того, **хто** із зацікавлених осіб і в **чому** зацікавлений, **які** зміни і **чому** вони хочуть внести. При цьому власна його позиція повинна бути нейтральною, він повинний остерігатися вплинути на думки обстежуваних осіб.

4.3. Виявлення цілей

Як добре формалізовані, так і слабо структуровані проблеми повинні бути приведені до вигляду, коли вони стають задачами вибору придатних засобів для досягнення заданих цілей. Тому, насамперед, необхідно визначити цілі, визначити, **що** треба зробити для зняття проблеми.

Як не дивно, в практиці системного аналізу спочатку сформульовані цілі в міру виконання аналізу часто змінюються або скасовуються зовсім. Це зв'язано з рядом факторів.

Головні труднощі виявлення цілі пов'язані з тим, що ціль - як би антипод проблеми. Формулюючи проблему, ми говоримо в явній формі, що нам не подобається; говорячи ж про цілі, ми намагаємося сформулювати, що ж ми хочемо. Ми як би вказуємо напрямок, у якому слід "відходити" від існуючої ситуації, яка не влаштовує нас. Труднощі в тім і складаються, що можливих напрямків багато, а вибрати потрібно тільки один, дійсно вірний, а не такий, що здається таким. Вибір же ненапрямованої цілі приводить не стільки до рішення самої проблеми, скільки до появи нових проблем. До того ж сам суб'єкт, цілі якого повинні бути виявлені, часто не може їх чітко усвідомити, навіть якщо і дає їм чіткі формулювання. Згадаємо приклад з розд. 2 про будівництво нової школи, коли в ході аналізу з'ясувалося, що дійсна ціль - підвищення рівня освіти населення, і серед запропонованих альтернатив знайшлися більш ефективні способи використання ресурсів. Це є також прикладом ще однієї складності виявлення цілей - підміни цілей засобами. Те, що для одного рівня ієрархії є ціль, для іншого є засобом; і їх часто плутають.

Третій аспект виявлення цілей зв'язаний з тим, що формування цілей людини визначається системою цінностей, якої вона дотримується. У багатьох випадках може виявитися необхідним взяти до уваги системи цінностей і зацікавлених сторін, а вони можуть бути різними, навіть суперечливими.

Наступні труднощі полягають у тому, що ціль ніколи не буває єдиною, навіть якщо текстуально вона зветься "глобальна ціль". Стосовно кожної зі сторін також виникає проблема повноти завдання її цілей. Так, літак повинний відповідати і запитам про комфортність пасажирів, і бути спроектованим відповідно до теорії літальних апаратів, повинний відповідати екологічним вимогам і враховувати можливості наявної виробничої бази і т. п. Корисними тут виявляються наступні методи: включати до розгляду цілі, протилежні заявленим, виявляти і небажані за наслідками цілі, допускати взагалі всякі цілі (критика їх буде проводитись на наступних етапах системного аналізу).

При множинності цілей існує також небезпека їхнього невірною ранжування. Наприклад, коли фахівці-професіонали, що беруть участь у рішенні проблеми, нав'язують своє бачення світу і тим самим підмінюють головні цілі своїми.

І останнім, шостим аспектом, що завдає труднощів при виборі цілей, є той факт, що цілі змінюються з часом. Це може відбуватися не тільки в ході аналізу, в силу все кращого розуміння дійсних цілей,

про що вже говорилося, але і внаслідок зміни об'єктивних умов або суб'єктивних установок, що впливають на вибір цілі. Так, цілі більш високих рівнів є більш довговічними. У соціальних системах цілі вищих рівнів часто формулюють як інтереси майбутніх поколінь, терміни цілей нижніх рівнів зв'язуються з теперішніми діями.

4.4. Формування критеріїв

Слово “критерій” в системному аналізі вживається в широкому змісті - як будь-який спосіб порівняння альтернатив. Критерієм якості альтернативи може служити будь-яка її ознака. Після того, як така характеристика буде знайдена, з'являється можливість ставити задачі вибору й оптимізації. Відзначимо, що не во всіх задачах виникає необхідність в даному етапі - наприклад, якщо проблема полягає лише в знаходженні виходу із існуючого положення, то формувати які-небудь критерії, звичайно, немає необхідності.

Критерії варто розглядати як кількісний опис якісних цілей, що надалі замінюють їх. Зрозуміло, що критерії не можуть цілком збігатися з цілями вже хоча б тому, що є спробою формалізувати сформульовані звичайною мовою цілі. Тому від критеріїв потрібна якомога більша подібність до цілей, щоб подальша оцінка за критеріями відповідала максимальному наближенню до них.

На практиці з'являється дуже важка задача вибору максимально об'єктивного критерію, яка погано піддається алгоритмізації. У деяких галузях розроблені більш-менш вдалі теорії оцінки - теорія економічної цінності, теорія корисності, психологічна теорія цінності і т. ін. У цілому ж зараз картина така, що побудова критеріїв є більш мистецтвом, ніж наукою.

Основна причина цього пов'язана зі складністю, багатомірністю, різноманіттю реальних систем. Тому лише в одиничних випадках вдається по одному показнику більш-менш об'єктивно судити про стан усієї системи. Наприклад, показником рівня медичного обслуговування в якій-небудь країні за стандартами НАТО прийнято вважати рівень дитячої смертності. Однак це скоріше виключення, ніж правило, оскільки об'єктивна оцінка при такому підході дуже спірна, і одного критерію явно недостатньо.

Рішення може складатися не тільки в пошуку більш адекватного критерію (можливо, він і не існує), але й у використанні декількох критеріїв, що описують ту саму ціль по-різному і доповнюють один одного. І справа не тільки і не стільки в кількості критеріїв, скільки в тому, щоб вони досить повно “покривали” ціль. Це значить, що критерії повинні описувати по можливості усі важливі аспекти цілі, але при цьому бажано мінімізувати їхню кількість. Остання вимога задовольняється,

якщо критерії будуть взаємонезалежними. Що ж стосується виконання вимоги повноти, то тут необхідно досить повно описувати вихідну ситуацію, а це саме і є робота системного аналітика.

Існуючі способи формулювання критеріїв будуть наведені при розгляді етапу вибору, оскільки їх постановка в значній мірі визначається методами їх наступної обробки, а критеріальна мова є однією з мов опису вибору.

4.5. Генерування альтернатив

При рішенні погано формалізуємих задач або задач оригінального, евристичного типу системним аналітикам часто необхідно виробляти нові, раніше не відомі шляхи їх рішення, генерувати альтернативи. Саме формування безлічі альтернатив і є найбільш важким, найбільш творчим етапом системного аналізу. Так, А. Хол відзначає: “Стадія пошуку ідей, безсумнівно, являє собою кульмінаційну крапку процесу рішення задачі, адже без ідей нема чого аналізувати і вибирати”.

В даний час теоретиками і методистами системного аналізу розроблено ряд методів, що допомагають збільшити кількість альтернатив. Для цього використовують різні способи:

- а) пошук альтернатив у патентній і журнальній літературі;
- б) залучення декількох кваліфікованих експертів, що мають різноманітну підготовку і досвід;
- в) збільшення числа альтернатив за рахунок їхнього часткового або повного комбінування;
- г) включення альтернатив, протилежних запропонованим, у тому числі і нульової альтернативи (“не робити нічого”, тобто розглянути наслідки розвитку подій без нашого втручання);
- д) інтерв'ювання та анкетні опитування зацікавлених осіб;
- е) включення, на перший погляд, дурних і надуманих альтернатив;
- ж) генерування альтернатив, розрахованих на різні інтервали часу (довгострокові, короткострокові, екстрені і т. ін.).

При роботі на етапі генерування альтернатив необхідно пам'ятати про існування факторів, що як гальмують творчу діяльність, так і сприяють їй. До них відносять наслідки невірної сприйняття дійсності, інерційність мислення, переважні стереотипи, страх критики, суб'єктивне відношення до “улюблених” альтернатив. Відомо негативний вплив сторонніх шумів, різних незручностей і навіть погодних і кліматичних факторів. Дуже сильний вплив завдають суспільні умови, загальне культурне тло, ідейна атмосфера. Схвалення окремою соціальною групою - найсильніший стимул творчості людини.

У зв'язку з цим розроблені кілька методик, в яких використовуються різні комбінації факторів, які сприяють процесу генерування альтернатив. Розглянемо коротко найбільш відомі з них.

Першим у цьому ряду є **метод мозкового штурму**. Він розроблений для одержання максимальної кількості пропозицій у досить короткий термін. Його ефективність разюча: шість чоловік за півгодини можуть висунути 150 ідей! Техніка мозкового штурму така. Збирається група осіб, відібраних за принципом - розмаїття професій, кваліфікацій, досвіду. Повідомляється, що приймаються будь-які ідеї, які виникають під час обговорення. Категорично забороняється будь-яка критика навіть найдурніших ідей - це головна умова, що визначає ефективність методу, оскільки критика гальмує уяву. Кожний по черзі зачитує свою ідею, інші слухають і записують на картки нові думки, що виникають спонтанно або під впливом почулого. Потім усі картки збираються, сортуються й аналізуються. Число альтернатив можна згодом значно збільшити, комбінуючи згенеровані ідеї. Серед отриманих альтернатив може виявитися багато абсурдних і нереальних, але вони легко виключаються наступною критикою.

Відомо багато чудових прикладів успішного мозкового штурму. Приведемо один з них, що ілюструє користь заборони критики. На протязі війни гостро стояла проблема протидії мінам і торпедам противника на морі. Під час мозкового штурму була висунута ідея: "Нехай, як тільки буде виявлена міна або торпеда, уся команда стане до борта і дує на неї!". Ця несерйозна, на перший погляд, ідея не була відкинута і трансформувалася в пропозицію за допомогою могутніх насосів створювати потоки води, що відштовхують небезпечний об'єкт.

Синектика призначена для генерування альтернатив шляхом асоціативного мислення, пошуку аналогій поставленій задачі. На протигау мозковому штурму тут метою є не кількість альтернатив, а генерування невеликого числа альтернатив, що вирішують дану проблему, а від людей, що займаються цим, потрібна спеціальна і тривала підготовка. Ефективність синектики приблизно така: група тренуваних синекторів, що працюють повний робочий день, здатна протягом року знайти придатне рішення приблизно чотирьох невеликих і двох конкретних проблем. Суть методу полягає в наступному. Формується група з 5-7 чоловік, відібраних за ознаками гнучкості мислення, практичного досвіду, товариськості. Виробивши визначені навички спільної роботи, група веде систематичне спрямоване обговорення будь-яких аналогій з підлягаючої рішенню проблемою, які спонтанно виникають у ході бесід, навіть фантастичного типу (наприклад, дорога існує тільки безпосередньо під колесами автомашини). Особливе значення надається аналогіям, породжуваним руховими відчуттями, оскільки наші

природні рефлексії самі по собі є високоорганізованими і їхнє осмислення може підказати гарну системну ідею. Розкутість уяви, інтенсивна творча праця створюють атмосферу щиросердечного підйому, характерну для синектики. У США навіть створена спеціальна *фірма Sinectics Incorporated*, що займається консультуванням і навчанням в області синектики.

У деяких проблемах шукане рішення повинне визначити реальний майбутній перебіг подій. У таких випадках альтернативами є гіпотетичні сценарії майбутнього, а сам метод називається **розробка сценаріїв**. Однак ці сценарії являють цінність тільки, якщо вони не просто плід фантазії, а логічно обґрунтовані моделі майбутнього, прогноз про те, “що трапиться, якщо ...”. У практиці рекомендується розробляти “верхній” і “нижній” сценарії, між якими може знаходитися реальне майбутнє. Сценарії не розробляють детально, тому що вони виявляються занадто чутливими на ранніх стадіях.

Морфологічний аналіз - складається у виділенні всіх незалежних перемінних проектуємої системи, перерахуванні всіх можливих їхніх значень і генеруванні альтернатив простим перебором усіх можливих сполучень цих значень. Для скорочення кількості можливих варіантів накладають різні обмеження, наприклад, можливості їх подальшої реалізації.

Діловими іграми називається імітаційне моделювання реальних ситуацій, у процесі якого учасники поведуться так, начебто вони в реальності виконують доручену їм роль. Частіше їх використовують для навчання, але вони придатні і для генерування альтернатив.

5. Моделі і моделювання

5.1. Широке тлумачення поняття моделі

Наступним етапом системного аналізу є побудова і використання моделей. Поняття **модель** дуже велике за своїм значенням і надзвичайно важливе за змістом для всього системного аналізу, тому розглянемо його більш докладно.

Як і поняття “система”, поняття “модель” також пройшло у своєму розвитку кілька етапів. Спочатку моделлю називали якийсь допоміжний засіб, об’єкт, що у визначеній ситуації заміняв інший об’єкт. При цьому не відразу була зрозуміла необхідність представляти будь-які наші знання у вигляді моделей. В результаті дуже довго поняття моделі відносилось тільки до матеріальних об’єктів спеціального типу,

наприклад, моделі судів і літаків, опудала (моделі) тварин. Таке трактування є безсумнівно дуже звуженим.

Осмислення основних особливостей моделей привело до розробки численних визначень, типовим прикладом яких є наступне: модель - якийсь об'єкт-заступник, що у визначених умовах може замінити об'єкт-оригінал, відтворюючи цікавлячі нас його властивості і характеристики, причому має істотні переваги і зручності (наочність, видимість, можливість іспитів та ін.). Потім були усвідомлені модельні властивості креслень, малюнків, карт - реальних об'єктів штучного походження, що втілюють абстракцію досить високого рівня. Наступний крок полягав у визнанні того, що моделями можуть служити не тільки реальні об'єкти, але й абстрактні, ідеальні побудови. Типовим прикладом служать математичні моделі. В результаті діяльності математиків, логіків і філософів, що займалися дослідженням основ математики, була створена теорія моделей. В ній **модель** визначається як **результат відображення однієї абстрактної математичної структури на іншу, також абстрактну, або як результат інтерпретації першої моделі в термінах і образах другої**.

У ХХ ст. поняття моделі стає все більш загальним, яке охоплює і реальні, і ідеальні моделі. При цьому поняття абстрактної моделі вийшло за межі математичних моделей, стало відноситися до будь-яких знань і уявлень про світ. Моделі можуть бути якісно різними, вони складають свою ієрархію, в якій модель більш високого рівня (наприклад, теорія) містить моделі нижніх рівнів (гіпотези), як свої приватні елементи. Важливо також, що визнання ідеальних уявлень, наукових побудов, законів в якості моделей підкреслює їхню відносну істинність.

5.2. Моделювання - невід'ємний етап усякої цілеспрямованої діяльності

Всякий процес праці є діяльність, спрямована на досягнення визначеної мети. Скульптор обтісує мармурову брилу, залишаючи в ній те, що стане скульптурою; спортсмен наполегливо тренується, щоб перемогти в змаганні і т. д. Під метою же розуміється, як ми вже установили, образ бажаного майбутнього, тобто модель стану, на реалізацію якого і спрямована діяльність. Причому модель є не просто образом-замінником оригіналу, не взагалі якимось відображенням, а відображенням цільовим. Із цього випливає множинність моделей одного об'єкта: для різних цілей вимагаються різні моделі. Приведемо простий приклад. Група туристів робить привал. Представимо, які моделі однієї колоди "будують" у своїй діяльності різні члени групи: одному доручено обладнати табір, і він прикидає, чи можливо використати цю колоду для столу або як сидіння; інший відповідає за вогнище,

а для дров від колоди вимагаються не геометричні, а зовсім інші якості; третього цікавить вік дерева; фотограф шукає в колоді сук з цікавим вигином і т. ін.

Саме цільове призначення моделей дозволяє всю їх безліч поділити на основні типи - за типами цілей. Так, розподілу цілей на теоретичні і практичні відповідає розподіл моделей на **пізнавальні і прагматичні**. Перші є формою організації і представлення знань, засобом з'єднання нових знань з наявними. Тому при виявленні розбіжності між моделлю і реальністю постає задача усунення цієї розбіжності за допомогою зміни моделі (коректування гіпотез, зміна робочих креслень). Прагматичні моделі є способом керування, організації практичних дій, представлення зразково правильних дій і їхнього результату, тобто це - ідеал. Тут же при виявленні розбіжності з реальністю прагнуть наблизити її до моделі (точніше обточити деталь, швидше пробігти дистанцію). Основне розходження між цими двома типами моделей можна виразити так: пізнавальні моделі відбивають існуюче, а прагматичні - не існуюче, а бажане і (можливо) здійсненне.

Іншим принципом класифікації цілей моделювання може служити розподіл моделей на **статичні і динамічні**. Для одних цілей нам необхідна модель конкретного стану об'єкта, свого роду його "моментальна фотографія" (статична модель). Коли ж наші цілі пов'язані не з одним станом, а з розходженням між станами, виникає необхідність у відображенні процесу зміни станів (динамічна модель).

Зупинимось тепер на питанні, з чого будуються моделі. Вони можуть бути побудовані засобами мислення (**абстрактні**) або засобами матеріального світу (**реальні**). Особливе місце серед абстрактних моделей займають **мовні** моделі. Неоднозначність, розпливчастість природної мови, багатозначність майже кожного слова разом з багатоваріантністю їхнього можливого з'єднання у фрази, настільки корисні в багатьох випадках, можуть заважати в деяких видах практики. Тоді створюються більш точні, професійні мови, ціла ієрархія мов, усе більш і більш точних, що завершуються ідеально формалізованою мовою математики. Що ж стосується реальних моделей, то для них визначальним моментом є встановлення відносин подоби між ними і оригіналом.

Існує спеціальна теорія подоби в інженерії, що дозволяє в даний час правильно моделювати дуже складні об'єкти і процеси. Вона розглядає **пряму подобу** (фізична подоба). Можливі також **непрямий вид подоби**, що встановлюється через загальну аналогію, загальну абстрактну модель, - електромеханічна аналогія, автопілот і т. ін. Третій вид подоби - **умовна** - встановлюється через угоди. Це гроші (мо-

дель вартості), робочі креслення (моделі майбутніх речей) та ін. Із моделями умовної подоби приходить мати справу дуже часто, оскільки вони є способом матеріального втілення абстрактних моделей, речовинною формою, в якій абстрактні моделі можуть передаватися, зберігатися, тобто відчуватися від свідомості і все-таки зберігати можливість повернення в абстрактну форму.

Отже, ми бачимо, що поняття моделі відноситься не просто до об'єкта, який моделюється, воно включає також і суб'єкта, що організує моделювання, і задачу, заради якої проводиться моделювання (обох через мету), і засоби, з яких створюється модель. Але є ще одна невід'ємна властивість моделі - властивість погодженості з культурним середовищем, без якого модель не функціонує (згадаємо величезну кількість ідей, що обігнали свій час і тому не були сприйняті суспільством).

Модель завжди спрощено відображає оригінал, вона кінцева, оскільки подібна до оригінала лише в кінцевому числі відносин (інакше це була б вже копія об'єкта). Самі ресурси моделювання також кінцеві. Спрощеність будь-якої моделі - це її головна, споконвічна властивість, адже ми самі того хочемо, тому що не можемо працювати з оригіналом і створюємо для його заміни більш простий об'єкт - модель. У кожній моделі є частка істини, тобто в чомусь будь-яка модель вірно відображає оригінал. Ступінь істинності моделі виявляється при практичному співвіднесенні моделі й оригіналу ("практика - критерій істинності"). Крім безумовно істинного, в моделі є і вірне лише за певних умов і щось "невірне", тобто не маюче відношення до оригіналу. Співвідношення цього і визначає правильність моделі, відповідність з дійсністю.

Моделі мають ще одну цікаву властивість - як і усе в світі, вони проходять свій життєвий цикл: виникають, розвиваються, співробітничать або суперничають з іншими моделями, поступаючись місцем більш досконалим. Одні моделі живуть довше окремих людей, і тоді етапи їхнього життя вивчаються у виді історії тієї або іншої сфери знань, життєвий цикл інших моделей повинний бути обов'язково довершений у доступний для огляду термін.

Якщо тепер спробувати дати визначення моделі, то можна сказати, що **модель є системне відображення оригіналу**, і ми наочно бачимо наскільки багатим є поняття системності.

5.3. Моделі систем

Найбільш простою моделлю системи є модель, що відбиває її цільову спрямованість і відособленість від середовища. Вона зветься моделлю "**чорного ящика**" (рис. 3). Назва образно підкреслює повну відсутність даних про внутрішній зміст "ящика": в цій моделі задають-

ся, фіксуються, перелічуються тільки вхідні і вихідні зв'язки системи із середовищем (навіть стінки “ящика”, тобто границі між системою і середовищем, у такій моделі часто не описуються, а лише маються на увазі). Дана модель, незважаючи на зовнішню простоту і на відсутність даних про внутрішності системи, часто виявляється корисною.

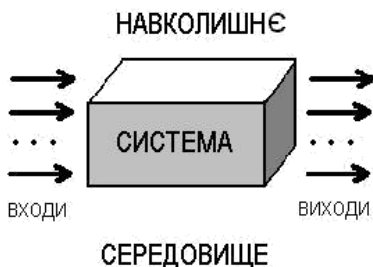


Рис. 3. Модель “чорного ящика”

У багатьох випадках досить змістовного опису входів і виходів. Тоді модель “чорного ящика” є просто їх списком. Так, опишемо виходи системи “наручний годинник”. Це - показання часу в довільний момент, зручність носіння годиннику на зап'ясті, побутова міцність, пиловологонепроникність, достатня точність, відповідність моді, приємність ціни, можливість прочитання показань у темряві тощо. Саме за цими ознаками ми найчастіше робимо вибір годинників, але ж переважна більшість з нас нічого не знає про їх внутрішній устрій, тобто модель “чорного ящика” у даному випадку цілком нас влаштовує. Ще приклад – приватний автомобіль. Чим більш цивілізованим є суспільство, тим меншій кількості людей необхідно знати склад і структуру свого автомобіля, оскільки існують компетентні в цих питаннях станції техобслуговування. Власника ж цілком влаштовує підхід до автомобіля, як до “чорного ящика”.

Часто модель “чорного ящика” виявляється єдиною можливою при вивченні системи (дослідження психіки людини, впливу ліків на організм). Це відноситься до таких досліджень, в результаті яких потрібно одержати дані про систему в звичайній для неї обстановці, піклуючись, щоб виміри якнайменше впливали на саму систему. Інша причина вибору саме цього типу моделі системи - дійсна відсутність даних про внутрішній устрій системи. І це досить часто має місце на практиці.

Основна небезпека при роботі з такими моделями - можливість неповноти складання переліку входів і виходів як унаслідок того,

що важливі з них можуть бути відкинуті як несуттєві, так і в силу невідомості деяких із них у момент побудови моделі. Це типова ситуація при проведенні наукових досліджень і наукової діяльності взагалі.

Наступним типом моделей систем є **модель складу системи**. Вона цілком описує всю ієрархію внутрішнього устрою системи. Головні труднощі при цьому полягають в тому, що поділ цілісної системи на частини є, як ми вже бачили, умовним, залежним від цілей моделювання. Це, також, відноситься і до границь самої системи.

Ще одним типом моделей є **модель структури системи**. Вона описує внутрішній устрій системи, відображає зв'язки між компонентами моделі складу системи, тобто сукупність зв'язаних між собою підмоделей “чорного ящика” для кожної з частин системи. Тому труднощі побудови моделі структури такі ж самі, як і моделі “чорного ящика”. Все це зовсім не означає, що сама система або її склад відносні. Просто ми маємо справу не з різними системами, а з різними моделями системи.

Моделі “чорного ящика”, складу і структури разом утворюють ще одну модель, яка називається **структурною схемою системи** (є також терміни “білий ящик”). У ній вказуються всі відомі елементи системи, всі зв'язки між ними в середині системи і зв'язки окремих елементів з навколишнім середовищем (входи і виходи системи).

Усі зазначені типи моделей є формальними, стосовними до будь-яких систем і, отже, нестосовними ні до однієї конкретної системи. Щоб одержати модель заданої системи, потрібно додати формальній моделі конкретного змісту, вирішити, які аспекти реальної системи включати як елементи моделі обраного типу, а які - ні, вважаючи їх несуттєвими. Тому даний процес носить інтелектуальний, творчий, неформалізуємий характер. Маються лише загальні рекомендації для досягнення повноти моделі. Основні з них - включати в модель якомога більш широкий спектр впливаючих факторів, навіть, неважливих на перший погляд - далі може з'ясуватися їхня необхідність; в моделі повинні бути присутніми суперечливі елементи (бажані і небажані процеси), що є ознакою повноти моделі; щоб не пропустити що-небудь важливе, але доки невідоме, необхідно додавати невідомі елементи (типу “все інше”) і на різних стадіях системного аналізу звертатися до цих елементів, перевіряючи чи не з'явилася можливість їх конкретизувати, додати ще один елемент у модель. В арсенал професійних аналітиків входить велика кількість подібних правил, що є іноді “ноу-хау” даного фахівця.

6. Вибір (прийняття рішення)

6.1. Різноманіття задач вибору

Розглянемо ще одну дуже важливу операцію, що обов'язково входить до процесу системного аналізу, - вибір. **Вибір є дією, яка додає всій діяльності цілеспрямованість, оскільки саме він реалізує підпорядкованість усієї діяльності визначеній цілі або сукупності цілей.** Рано чи пізно настає момент, коли подальші дії можуть бути різними, приводять до різних результатів, а реалізувати можна тільки одну з них, причому повернутися до ситуації, що мала місце в момент вибору, вже, як правило, не можна.

Здатність зробити вірний вибір у таких умовах - дуже цінна якість, що властива людям у різному ступені. Великі полководці, відомі політики, геніальні інженери та вчені відрізнялися і відрізняються від своїх колег або конкурентів насамперед вмінням приймати кращі рішення, робити кращий вибір. Тому цілком природним є прагнення зрозуміти, що таке "гарний вибір", виробити рекомендації, як наблизитися до найкращого рішення.

Задачі вибору надзвичайно різноманітні, різні і методи їх рішення. Насамперед, введемо поняття, загальні для всіх задач вибору. Будемо представляти **прийняття рішення** як дію над безліччю альтернатив, в результаті якої виходить підмножина обраних альтернатив (або одна альтернатива). Звуження безлічі альтернатив можливо, якщо є спосіб їх порівняння між собою і визначення найкращих. Кожен такий спосіб будемо називати **критерієм переваги**. При цьому, природно, вже пройдені попередні етапи породження самої безлічі альтернатив і визначення цілей вибору.

При формуванні критерію переваги необхідно одночасно враховувати безліч факторів, різні сполучення яких приводять до множинності задач вибору:

- безліч альтернатив може бути кінцевим, лічильним або континуальним;
- оцінка альтернативи може здійснюватись за одним або за декількома критеріями, що можуть мати як кількісний, так і якісний характер;
- режим вибору може бути однократним (разовим) або повторюватись;
- наслідки вибору можуть бути точно відомі (вибір в умовах визначеності), мати імовірнісний характер (вибір в умовах ризику) або мати неоднозначний результат (вибір в умовах невизначеності);
- відповідальність за вибір може бути однобічною (індивідуальний вибір) або багатобічною (груповий вибір);

- ступінь погодженості цілей учасників вибору при груповому виборі може варіюватися від повного збігу інтересів (кооперативний вибір) до їхньої протилежності (вибір у конфліктній ситуації). Можливі також проміжні випадки - компромісний вибір, коаліційний вибір, вибір в умовах наростаючого конфлікту тощо.

Загальна схема задач вибору відбита на рис. 4.

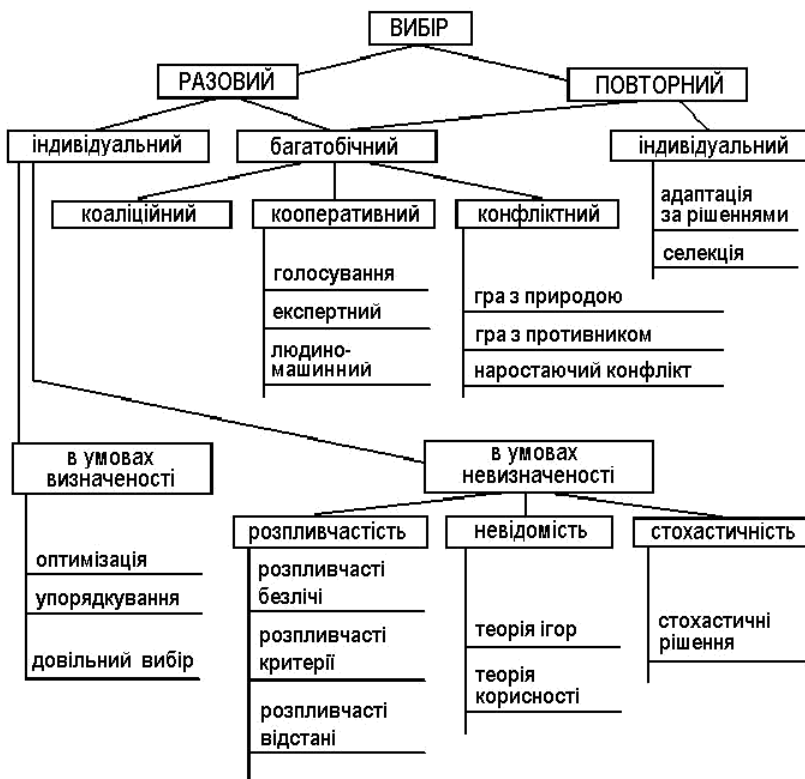


Рис. 4. Взаємозв'язок задач вибору

Ми бачимо, що сучасна теорія вибору дуже різноманітна і багатобічна. Існує цілий ряд дисциплін, кожна з яких вивчає свій визначений “шматочок” теорії вибору - теорія оптимізації, дослідження операцій, варіаційне числення, математичне програмування, теорія ігор, математична статистика і т. д. Ми розглянемо лише найбільш важливі моменти теорії вибору, які зустрічаються на практиці частіше за інші.

6.2. Разовий індивідуальний вибір

Розглянемо спочатку проведення такого вибору в умовах визначеності. До теперішнього часу склалося три основні методи його проведення. Найпростішим і найбільш розвинутим є критеріальний метод. При такому підході кожен окрему альтернативу оцінюють конкретним числом і порівняння альтернатив зводиться до порівняння чисел.

При розгляді етапу формування критеріїв ми відзначали, що реальні задачі є багатокритеріальними. І на початкових етапах формування системного аналізу спроби звести багато факторів, що не можна співставити, до одного були безуспішні. Підкреслювалася абсурдність такого підходу: як, наприклад, проблему, що включає в себе естетику, умови проживання, вартість тощо звести до визначення одного параметра, за допомогою якого можна проводити порівняння можливих рішень? Однак пізніше прийшло розуміння того, що, хоча система й описується безліччю різнотипних факторів, але при виборі рішення термін **найбільш бажане рішення** містить в собі тільки один-єдиний фактор - бажаність, і отже, подібний штучний критерій все-таки може бути сформульовано.

Для цього було запропоновано кілька способів. Перший полягає в **зведенні багатокритеріальної задачі до однокритеріальної**. Цей спосіб широко використовується в математиці при рішенні задач оптимізації і запозичений системним аналізом саме звідти. Суть способу складається у введенні одного суперкритерію (цільової функції), що вміщує в собі всі інші критерії і характеристики системи. У найпростішому випадку він має вигляд (1):

$$F = \sum w_i u_i = w_1 u_1 + w_2 u_2 + w_3 u_3 + \dots + w_n u_n, \quad (1)$$

де u_i - числова величина i -ї характеристики альтернативи;

w_i - i -й ваговий множник;

F - цільова функція.

Кожна альтернатива може бути охарактеризована по ряду n незалежних показників. Числова величина - це бал, оцінка того, наскільки даний показник притаманний даній альтернативі, наприклад, по 15-бальній шкалі. Ваговий множник відбиває той факт, що різні показники мають різне значення для даних конкретних умов. Існують різноманітні способи їхнього визначення, наприклад, складання матриці переваги або трикутника точок зору. Сама цільова функція - це число, що більш-менш об'єктивно комплексно характеризує дану альтернативу. Порівняння альтернатив зводиться до простого порівняння цих чисел. Приклад проведення такого вибору наведено у додатку А.

В теорії оптимізації даний спосіб має більш складну інтерпретацію, коли кожний з показників задається у формі якої-небудь функції і потім відшукується максимум (мінімум) цільової функції, що вийшла. В даний час математичний апарат і методи теорії оптимізації розроблені досить добре, але проблема полягає у тому, що не завжди їх можна перенести на складні системи. Це пов'язано з тим, що, по-перше, незначні зміни в умовах задачі можуть привести до вибору істотно різних альтернатив. По-друге, якщо ми локально оптимізуємо підсистеми, то це зовсім не означає, що система в цілому також виявиться оптимізованою. Тому виникає необхідність погоджувати критерії підсистем із критеріями системи, що досить важко. По-третє, не задавши всіх необхідних обмежень (вони можуть бути заздалегідь і невідомі), ми можемо одночасно з оптимізацією основного критерію одержати непередбачені і небажані супутні ефекти. Наприклад, оптимальне рішення буде знайдено, але для його реалізації будуть потрібні величезні ресурсні витрати. По-четверте, і головне, завжди є неоднозначність і суб'єктивізм постановки багатокритеріальних задач. Звичайно, математичні моделі, запропоновані в таких випадках, можна оптимізувати, але завжди потрібно враховувати їхню значну спрощеність і не відноситися до такої оптимізації занадто серйозно.

Очевидна суб'єктивність згортання декількох критеріїв змушує шукати інші підходи до рішення подібних задач. Так, можливо інше використання того факту, що окремі критерії звичайно нерівнозначні між собою. Тоді виділяють основний, головний критерій і розглядають інші як додаткові. Задача трансформується в задачу знаходження екстремума основного критерію за умови, що додаткові критерії залишаються на заданих рівнях (менш якої-небудь встановленої величини вони бути не можуть). При цьому в практиці можуть зустрічатися випадки, коли накладені обмеження виявляються настільки сильні, що унеможливають досягнення мети. Тоді системний аналітик повинний ставити перед особою, що приймає рішення, питання про ослаблення або повне скасування цих обмежень.

Третій спосіб рішення задачі багатокритеріального вибору складається у відмовленні від виділення єдиної найкращої альтернативи. Перевагу одній з них перед іншою віддають тільки, якщо перша за всіма критеріями краще другої. Інакше альтернативи визнаються непорівнянними і приймаються як рівноправні. Сукупність усіх таких альтернатив утворює безліч Парето і вибір на цьому закінчується, при необхідності ж вибору єдиної альтернативи вводять додаткові критерії, прибігають до жереба або використовують послуги експертів.

Другим методом проведення разового індивідуального вибору є **метод бінарних відносин**. Він заснований на тому, що в реальності

дати оцінку окремо узятій альтернативі часто важко і неможливо. Тому альтернативи розглядають попарно, вибираючи з них одну. Відбувається ранжування, упорядкування альтернатив. Одним з таких підходів є завдання матриці переваги.

Існує також і третій метод опису вибору - **метод функцій вибору**, у даний час ще не цілком сформований. Необхідність його розробки була викликана наступними роздумами. По-перше, нерідко приходить зіштовхуватися із ситуаціями, коли вибір між двома альтернативами залежить від інших альтернатив (наприклад, перевага покупця між чайником і кавоваркою може залежати від наявності в продажі кавомолки). По-друге, можливі такі ситуації вибору, коли поняття переваги взагалі позбавлено змісту (наприклад, стосовно безлічі альтернатив досить звичайними є правила “типового” вибору, “середнього” вибору, що втрачають зміст у випадку двох альтернатив). У цілому даний метод є найбільш загальним у порівнянні з критеріальним і методом бінарних відносин і дозволяє формалізувати довільний вибір.

6.3. Груповий вибір

Розглянемо тепер інший тип вибору, що часто зустрічається в практиці - багатобічний кооперативний вибір, коли визначена кількість людей з однаковими намірами намагається зробити гарний вибір.

Першим видом такого вибору є голосування. Його начебто об'єктивність на практиці спотворюється серією парадоксів, що часто зводять на ніщо демократичний характер цієї процедури.

Один з найбільш розповсюджених принципів голосування - правило більшості: прийнятою вважається альтернатива, що одержала найбільше число голосів. Це правило приваблює своєю простотою і демократичністю, однак на ділі воно лише узагальнює індивідуальні переваги, і його результат не є критерієм істини. Тільки подальша практика показує вірність прийнятого рішення. По-друге, часто зустрічається ситуація, у якій правило більшості не спрацьовує: поділ голосів нарівно при парному числі голосуючих. Це породжує варіанти: голова має два голоси, більшість проста (51%), більшість подавляюча (близько 3/4), більшість абсолютна (близько 100%), принцип одноголосності (консенсус). При цьому мається на увазі відмовлення від ухвалення рішення, якщо жодна альтернатива не одержала необхідного відсотка голосів. Оскільки в реальному житті відмовлення від ухвалення рішення буває неприпустимо, а перехід до ухвалення рішення однією особою (диктатором) - небажаним, розробляються різні прийоми, що скорочують число ситуацій, які приводять до відмовлення.

Наприклад, якщо два експерти віддали перевагу протилежним варіантами a і b , то можна зробити вибір, порівнюючи «силу переваги»

кожного експерта. У криміналістичній практиці в таких випадках експертам пропонується в одному ряду з a і b упорядкувати по перевазі ще кілька альтернатив, скажемо c , d і e . Нехай перший експерт дав упорядкування (c, d, a, b, e) , а другий - (b, c, d, e, a) . Тоді ясно, що ступінь переваги b у порівнянні з a у другого експерта більше, ніж ступінь переваги a перед b у першого, і треба прийняти рішення на користь b (при цьому передбачається однакова компетентність експертів, порівнянність інтенсивності переваг тощо).

Навіть для консенсусу, що вимагає одноголосності, розроблені прийоми, що полегшують його досягнення. Так, якщо не досягнуто консенсус не тільки з приводу самих альтернатив, але і щодо способу їхньої перевірки, то варто знайти консенсуальне рішення, що ж робити далі. При цьому прийняти рішення доручається одній з авторитетних і відповідальних осіб (фактично це перехід від безрезультатного демократичного голосування до недемократичного, але з отриманням якогось рішення, принципу).

Отже, інша особливість голосування - це можливість відмовлення від вибору через недосягнення необхідної більшості. Здавалося б, виключивши таку можливість, можна забезпечити ухвалення рішення в будь-якому випадку, але тут виявляється ще одна особливість голосування - його нетранзитивність.

Наприклад, нехай кожне з трьох угруповань законодавців, що утворюють більшість голосів лише попарно, висунуло свої законопроекти: a , b і c . Кожна сторона керується перевагою свого законопроекту: $(a > b > c)$, $(b > c > a)$, $(c > a > b)$. Альтернативи представляються попарно. Після голосування по парі (a, b) одержуємо два голосу проти одного за альтернативу a («за» проголосували перше і третє угруповання у відповідності зі своїми перевагами). Аналогічно, два голоси проти одного будуть по двох інших парах альтернатив (b, c) і (a, c) , тобто голосування більшістю не привело до вибору законопроекту. Далі можливе застосування процедури, при якій після розгляду чергової пари альтернатива, що відкидається, замінюється новою. Тоді остаточне рішення виявляється залежним від порядку пред'явлення альтернатив: при порядку (a, b, c) вибирається c , при порядку (b, c, a) - a , при порядку (a, c, b) - b . Якщо в такий спосіб прийняти законопроект, то чию думку він буде виражати - більшості або організаторів голосування? Причина даного парадокса групового вибору знаходиться, звичайно, у циклічній сукупності вихідних індивідуальних переваг. Однак це лише окремий випадок більш загального явища, що одержало назву парадокса Ерроу (теорема про неможливість).

Іншим видом групового вибору є експертний вибір. До послуг експертів прибігають при рішенні проблем евристичного, інтуїтивного

типу, коли необхідне використання інтелекту людей, їхньої здатності шукати і знаходити рішення в нестандартних ситуаціях. Але, ця здатність сильно залежить від ряду зовнішніх і внутрішніх факторів. Ми вже приводили їх при розгляді проблеми генерування альтернатив.

Часто для експертного вибору використовують методики, розроблені для процедури генерування альтернатив (ділові ігри, мозковий шторм та ін.), але найбільш типовою є наступна процедура. Експертам роздають анкети з проханням оцінити запропоновані альтернативи. Заповнені анкети збирають, обробляють і отриману інформацію в деякому узагальненому виді передають особі, що приймає рішення. При цьому передбачається однакова компетентність експертів, а найвищу і найнижчу оцінки відкидають.

Наступним кроком у розвитку експертних оцінок є метод “Делфі”. Основна його ідея полягає в тому, що критика благотворно впливає на експерта, якщо вона психологічно не зв'язана з персональною конфронтацією. Тому, якщо проводити оцінку альтернатив у кілька турів, повідомляючи після кожного його повні підсумки і зберігаючи анонімність учасників, то експерти схильні також прислухатися до критики, що відноситься до них особисто і більш об'єктизувати свої доводи. Звичайно після двох турів виробляється прийнятний рівень збігу думок.

6.4. Вибір і відбір

До даного моменту мова йшла про процедури одноразового вибору. Навіть при проведенні вибору в кілька етапів, як у методі “Делфі”, ці етапи носять проміжний, підготовчий характер. Однак можливі ситуації, у яких вибір повторюється багаторазово, причому кожен наступний вибір відбувається в умовах, що відрізняються від тих, у яких відбувався попередній. Це додає динаміки самому процесу вибору і його наслідкам. Такий цілеспрямований багаторазовий вибір одержав назву штучного відбору або селекції. Як показали дослідження А.Н. Єфімова і В.М. Кутеева, тенденції, які виникають у ході селекції, сильно залежать від конкретних способів формування і поповнення добірних (елітних) груп.

У якості першої з них розглянемо правило “претендент-рекомендатель”. Воно полягає в тому, що при наявності вакансій в еліті узятий на вивчення із загальної сукупності елемент (претендент) порівнюється з узятим на вивчення з еліти елементом (рекомендателем); якщо значення критеріальної величини A у претендента вище, ніж у рекомендадателя, то претендент стає членом еліти, інакше утвориться нова пара “претендент-рекомендатель”. У цьому випадку напрямок зміни якості елітної групи визначається тим, які елементи (гір-

ші або кращі) довше існують в еліті: якщо гірші (як шарик з найменшим діаметром у підшипнику), то елітна група неминуче деградує, оскільки гірші частіше виступають як рекомедателі.

Інший спосіб поповнення елітних груп - правило "прополка", що полягає у вилученні з еліти m найгірших елементів і заміні їх узятими навмання n елементами з основної групи. При цьому в еліту можуть потрапити як елементи, кращі вилучених, так і гірші. Однак на наступному кроці прополки знову вилучаються m найгірших елементів, тому при $m > n$ гірші в еліті не затримуються, а кращі з нових залишаються. У результаті елітна група прогресує. Процедуру, зворотну прополці, називають "зняттям врожаю". При цьому ефекти протилежні тим, що спостерігаються при прополці: найбільшу шкоду групі приносить вилучення на кожному кроці тільки одного найкращого елемента.

Зовнішня активність у формуванні еліти реалізується процедурою, названою правилом "делегування". Вона полягає в наступному: з вихідної сукупності випадковим образом вибирають визначену кількість елементів (делегуючу вибірку), її упорядковують за величиною критерію цікавлячої нас якості і далі елемент із найбільшим рангом зараховують в еліту. Процедура повторюється стільки разів, скільки вакансій мається в елітній групі.

Приведені процеси мають аналогії і в соціальних системах, але розглянуті моделі занадто прості і для побудови кількісної теорії селекції в них не придатні, хоча, на думку А.Н. Єфімова, побудова елітних суспільних груп, які не піддаються деградації, можлива.

Ми розглянули далеко не всі існуючі види вибору, але навіть з розглянутого видно, наскільки це складний, різноманітний, суперечливий, але неминучий на практиці етап системного аналізу. Важливість його визнається всіма, але не всі усвідомлюють реальну цінність прийнятих рішень.

7. Заклучні етапи системного аналізу

7.1. Декомпозиція і агрегування

Єдність аналізу і синтезу дозволяє зрозуміти навколишній нас світ. Це відноситься до всіх галузей знань, і, природно, до системного аналізу. У даному розділі ми розглянемо технічні аспекти аналітичного і синтетичного методів дослідження систем, тобто акцент буде зроблений на тому, як виконуються операції поділу цілого на частини й об'єднання частин у ціле і чому вони виконуються саме так. Будемо називати ці операції **декомпозицією і агрегуванням**.

Дані процедури виконуються практично на всіх етапах системного аналізу: при визначенні складу і структури системи, при виділенні основного з неї для створення моделей, при аналізі й узагальненні даних досліджень і т. ін. Тому даний етап трохи умовно прилічений до заключного етапу системного аналізу з таких міркувань, що момент агрегування частин у ціле є можливим кінцевим етапом аналізу, оскільки тільки після цього ми маємо можливість пояснити ціле через його частини - у вигляді структури цілого.

Історично першим у явній формі був усвідомлений аналітичний метод, органічно властивий людському мисленню. Ще Р. Декарт писав: "Розчленуєте кожну досліджувану вами задачу на стільки частин ... , скільки буде потрібно, щоб її було легше вирішити". Успіх і значення аналітичного методу не тільки і не стільки в тому, що складне ціле розчленовується на все менш складні (і в остаточному підсумку прості) частини, а в тому, що з'єднані належним чином, ці частини знову утворюють єдине ціле. Успіхи аналітичного методу привели до того, що самі поняття "аналіз" і "наукове дослідження" стали синонімами.

Роль синтезу при проведенні будь-яких наукових досліджень була усвідомлена тільки в ХХ ст. Стало ясно, що його значення не зводиться тільки до "зборки деталей", отриманих при аналізі. Найважливіше значення має цілісність системи. Вона порушується при аналізі, втрачаються не тільки істотні властивості самої системи (розібраний автомобіль не їде, розчленований організм не здатний жити), але зникають і істотні властивості її частин, які виявилися відділеними від неї (відірване кермо не рулить). Тому результатом аналізу є лише розкриття структури, знання про те, як працює система, але не розуміння того, чому і навіщо вона це робить. Синтетичне мислення вимагає пояснити поведінку системи. Воно істотно відрізняється від аналізу. На першому кроці аналізу річ, що підлягає поясненню, розділяється на частини; у синтетичному мисленні вона повинна розглядатися як частина більшого цілого. На другому кроці аналізу ці частини пояснюються; у синтетичному мисленні пояснюється ціле, складовою частиною якого є наша система. На останньому етапі аналізу знання про частини агрегуються в знання про ціле; у синтетичному мисленні розуміння цілого дезагрегується для пояснення частин. Це досягається шляхом розкриття їх ролей або функцій у цілому. Синтетичне мислення відкриває не структуру, а функцію, відкриває чому система працює так, а не так, як вона це робить.

Таким чином, не тільки аналітичний метод неможливий без синтезу, але і синтетичний метод неможливий без аналізу. Вони доповнюють, але не замінюють один одного. Системне мислення сполучає обидва зазначені методи.

Як вже відзначалося, основною операцією аналізу є поділ цілого на частини. Як правило, об'єкт аналізу складний, слабко структурований, погано формалізований, тому операцію декомпозиції виконує експерт. Часто він легко проводить поділ, але має утруднення, якщо потрібен доказ повноти і беззалишковості пропонованого набору частин. Це пов'язано з тим, що підставою всякої декомпозиції є модель розглянутої системи. Тому на питання, скільки частин повинно утворитися в результаті декомпозиції, можна дати наступну відповідь: стільки, скільки елементів містить модель, узята як підстава. Питання про повноту декомпозиції - це питання про завершеність моделі. Можливі труднощі і проблеми, що виникають при складанні моделей, були розглянуті нами вище. Зараз додамо тільки, що фактично метод декомпозиції в системному аналізі не дає нових знань, а лише "витягає" знання з експертів, структурує і організує їх, оголюючи можливу недостачу знань у виді "дір" в цій структурі.

Операцією, протилежною декомпозиції, є операція агрегування, тобто об'єднання декількох елементів в єдине ціле. Необхідність агрегування може викликатися різними цілями і супроводжуватися різними обставинами, що приводить до різних (іноді принципово різних) способів агрегування. Однак у всіх **агрегатів** (так називають результат агрегування) є одна загальна властивість, яка одержала назву **емерджентність - прояв внутрішньої цілісності системи**. Ця властивість притаманна всім системам без винятку. Будучи об'єднаними, взаємодіючі елементи утворюють систему, що має не тільки зовнішню цілісність, відособленість від навколишнього середовища (моделюється "чорним ящиком"), але і внутрішню цілісність, природну єдність. Найбільш яскраво вона виявляється в тому, що властивості системи не є тільки сумою властивостей її складових частин. Система є щось більше. В цілому вона має такі властивості, яких немає ні в одній з її частин, узятих окремо. При об'єднанні частин у ціле виникає щось якісно нове, таке, чого не було і не могло бути без цього об'єднання. Нічого містичного, що з'явилося "нізвідки", тут немає: нові властивості виникають завдяки встановленню конкретних зв'язків між конкретними елементами. Чим більше відрізняються властивості сукупності від суми властивостей елементів, тим вище організованість системи.

Властивість емерджентності визнана й офіційно: при державній експертизі винаходів патентноздатним визнається і нове, раніше не відоме, з'єднання добре відомих елементів, якщо при цьому виникають нові корисні властивості.

Таким чином, до відомих нам властивостей системи (структурованість, наявність взаємозв'язку між частинами системи, цільова організація системи, зовнішня цілісність, відносна відособленість від

навикишнього середовища і зв'язок з ним) додалася ще одна і, може бути, головна - емерджентність, що виявляється в тому, що система в цілому має принципово нову якість. Вона існує, поки існує ціле, будучи проявом внутрішньої цілісності системи.

Як і у випадку декомпозиції, техніка агрегування заснована на використанні визначених моделей досліджуваної або проектуємої системи. Існує багато способів агрегування. Їхня спільність пов'язана з встановленням відносин між агрегуємими елементами. Найбільш важливими є наступні види агрегатів:

- **конфігуратор**. Він визначається як набір мінімально необхідних, але якісно різних мов (точок зору) опису системи. Наприклад, конфігуратором під час обговорення кандидатури на керівну посаду є перелік професійних, ділових, моральних якостей претендента, його стану здоров'я. Поняття конфігуратора часто використовують при визначенні повноти завдання цілей і розробки проблематики;

- **оператор**. Він конкретизує відносини між елементами. Прикладами агрегатів-операторів є класифікації, різні упорядкування, пошук закономірностей та ін.;

- **структура**. Описує зв'язки між елементами на всіх мовах конфігуратора.

Існують також і маловивчені способи агрегування такі, як самоорганізація, властива живої матерії.

7.2. Спостереження і експерименти над досліджуваною системою

Досить часто при системному дослідженні виникає необхідність у постановці і проведенні експериментів. Відношення між експериментом і теоретичною моделлю двояке. З одного боку, експеримент дозволяє перевірити і при необхідності уточнити модель, тобто є джерелом інформації для моделювання. З іншого боку, модель диктує, який саме експеримент варто проводити, тобто модель є джерелом інформації для організації експерименту. Тому місце даного етапу системного аналізу в загальному алгоритмі досліджень може варіюватися, і також, як і попередній етап, даний етап віднесений до заключних трохи умовно, хоча дуже часто він дійсно є одним із завершальних.

При проведенні експериментів системному аналітику важливо пам'ятати кілька моментів. По-перше, будь-які експерименти повинні проводитися з обов'язковою участю прямих фахівців у даній досліджуваній сфері, оскільки сам аналітик дуже часто виявляється непрямим фахівцем. При цьому він не повинний обмежуватися лише роллю замовника на виконання експерименту. Однією з його задач, поряд з

вірною постановкою цілей дослідів, контролем їхньої якості, стає правильний витяг інформації з результатів спостережень і вимірів.

Сучасне розуміння вимірів стало ширше класичного, що передбачає лише кількісні й однозначні виміри. Вони можуть носити і якісний характер, причому самі виміри, як правило, супроводжуються неминучими погрішностями, а цікавляча нас величина часто не може бути спостережена і піддається лише непрямим вимірам. Самі протоколи спостережень являють собою рід статистичних даних. Їх же обробка й аналіз пов'язані з рядом “ям” і “ловушек”. Існує навіть думка, що за допомогою статистики можна довести усе, що завгодно (“Є три види неправди - просто неправда, нахабна неправда і статистика”). Оскільки зі статистичними даними системному аналітику приходиться мати справу досить часто, то розглянемо основні правила “статистичної техніки безпеки”.

1. Статистичний висновок за своєю природою є випадковим. Він може мати високу надійність і точність, але ніколи не буде абсолютно достовірним. Це пов'язано з тим, що вихідні статистичні дані вже самі містять помилку і відхилення від точного значення (розкид у результатах будь-якого експерименту), оскільки вони отримані в сукупності з іншими, неконтрольованими факторами. Часто невірні методи обробки ще збільшують цю помилку. А скільки випадків навмисної фальсифікації даних! У практиці ж ми дуже часто чуємо, як статистичному висновку надається статус безпомилкового практичного керівництва.

2. Наступний, більш складний випадок - добросовісна омана відносно статистичності серії спостережень. Наприклад, при проведенні експериментів часто покладаються на паспортні характеристики апаратури через неможливість їхньої перевірки. Реальні ж характеристики можуть бути й іншими. Дані ж, отримані на такій апаратурі, обробляються надалі без усяких застережень.

3. Втрата очікуваної якості статистичних рішень може бути наслідком використання процедури, що не відповідає дійсному рівню вихідної інформації. Так, безглуздо проводити математичні операції, скажімо, з порядковими номерами дослідів. Відомо показовий приклад із практики керівництва. У виробничому цеху, що давав, скажімо, 100000 т сталі й обслуговувався бригадою, припустимо, з 10 чоловік, встановили нове обладнання. Цех почав давати 120000 т сталі, а обслуговуюча бригада скоротилася до 8 чоловік. У наявності збільшення випуску продукції на 20%. Однак керівництво для одержання додаткових премій видало начальству наступне: раніше продуктивність цеху складала $100000/10=10000$ т/чол, а тепер - $120000/8=15000$ т/чол, тобто “випуск продукції” зріс на цілих 50%!

4. Досить часто спостерігається і невірна змістовна інтерпретація вірних статистичних висновків. Так, одне з англійських статистичних досліджень минулого століття встановило, що головним фактором, що впливає на розходження у врожайності конюшини в сусідніх селах, було ... число старих дів. Автори були обвинувачені в марній розтраті відпущених на дослідження засобів. Надалі з'ясувалося, що англійські старі діви тримають по декілька кішок, а миші люблять розоряти гнізда джмелів - основних запильників конюшини.

Таким чином, ми бачимо необхідність обережного і вмілого погодження зі статистичними даними.

7.3. Реалізація результатів аналізу

На відміну від теорії систем, системний аналіз має прикладний характер, його кінцева мета - зміна існуючої ситуації відповідно до поставлених цілей. Тому остаточне судження про вірність і корисність системних досліджень можна зробити тільки на підставі результатів його практичного застосування.

Ми не раз підкреслювали, що системний аналіз застосовується при дослідженні будь-яких систем - природних, технічних, соціальних. При цьому останні - найбільш важкі для дослідження з багатьох причин: важкість постановки експериментів, "замутнення" ідеологією тощо. Ще одна з них складається в необхідності залучення до аналізу багатьох людей, навіть тих, хто цього не бажає. Включення до процесу досліджень етапу практичного поліпшення проблемної ситуації істотно збільшує виникаючі труднощі.

В реальному житті дуже рідко, та й то лише стосовно простих систем, буває так, що спочатку проводять дослідження, а потім його результати впроваджують в практику. Самі соціальні і соціотехнічні системи змінюються з часом як самі по собі, так і під впливом самого дослідження. Змінюється стан проблеми, цілі, число і склад учасників, а реалізація прийнятих рішень впливає на усі фактори функціонування системи. Відбувається фактичне як би злиття етапів дослідження і впровадження, що додає системному аналізу специфічний характер: проблеми повинні не "вирішуватися", а "розчинятися", "зникати" в ході активного дослідження.

Так, існує чотири способи поводження з будь-якою проблемою. Перший - не вирішувати проблему, сподіваючись, що вона зникне сама собою. Звичайно, при виникненні якої-небудь проблеми спочатку так і роблять, але в 99% випадків це не приносить результатів. Другий спосіб - частково вирішити проблему, пом'якшити її до приємного рівня. Це найпоширеніший спосіб у практиці несистемного підходу. Третій спосіб полягає в рішенні проблеми щонайкраще. І четвер-

тий - розчинити, ліквідувати проблему, роблячи в системі або її оточенні такі зміни, щоб не тільки зникла сама проблема, але і майбутні проблеми система могла б переборювати самостійно. Цей спосіб і реалізується в найбільш розвинутих формах системного аналізу.

В останні роки з'явилась, навіть, "теорія практики", розроблена Р. Акоффом. Її задача формулюється, як поліпшення роботи організації-клієнта з погляду хоча б однієї із зацікавлених сторін і відсутність погіршень цієї роботи з погляду всіх інших. Оскільки таке втручання торкається інтересів людей, то величезне значення при цьому, та й у всьому системному аналізі, надається питанням психології й естетики. Наприклад, одна з небезпек складається в нав'язуванні системним аналітиком своєї думки особі, що приймає рішення. В іншому випадку аналітик опиняється перед етичним вибором, коли його принципи суперечать принципам замовника. У будь-якому випадку етика - справа добровільна, а беззастережне відмовлення працювати на "неетичну" систему не завжди виправдане. Бувають випадки, коли мається надія, що така робота може змінити етику системи до кращого.

7.4. Заключні зауваження

Якщо спробувати охарактеризувати сучасний системний аналіз ще раз, дуже крупно і трохи в іншому ракурсі, то можна сказати, що він включає такі види діяльності, як наукове дослідження (теоретичне й експериментальне) питань, зв'язаних з проблемою; проектування нових систем і змін в існуючих системах; впровадження в практику результатів, отриманих в ході аналізу.

Вже сам цей перелік, мабуть, позбавляє сенсу спір про те, чого в системному дослідженні більше - теорії або практики, науки чи мистецтва, творчості або ремесла, евристики чи алгоритмічності, філософії або математики - це все в ньому присутнє. Звичайно, у конкретному дослідженні співвідношення між цими компонентами можуть бути всілякими. Системний аналітик готовий залучити до рішення проблеми будь-які необхідні для цього знання і методи - навіть ті, котрими він сам особисто не володіє; у цьому випадку він не виконавець, а організатор дослідження, носій мети і методології всього дослідження.

Життя різноманітне, і пропонувані для дослідження проблеми не завжди вимагають використання всього арсеналу системного аналізу, але завжди будь-яка проблема повинна вирішуватися поетапно, алгоритмічно. Складання цього алгоритму - прерогатива системного аналітика. Для конкретної проблеми може знадобитися свій особливий, спеціально для неї призначений алгоритм аналізу, при цьому вирішальне значення буде мати кваліфікація системного аналітика.

Список літератури

1. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ: Учебное пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1989. – 367с.
2. Системный анализ и проблемы развития городов / Ю.С. Попков, М.В. Посохин, А.Є. Гутнов, Б.А. Шмульянов. – М.: Наука, 1983. – 512с.
3. Денисов А.А., Колесников Л.Н. Теория больших систем управления: Учебник. – Л.: Энергия, 1982. – 286с.
4. Мороз А.И. Курс теории систем. – М.: Высш. школа, 1987. – 304с.
5. Вунич Г. Теория систем. – М.: Советское радио, 1978. – 362с.
6. Пэнгл Р. Методы системного анализа окружающей среды. – М.: Мир, 1979. – 214с.

Проведення разового індивідуального вибору

Розглянемо проведення разового індивідуального вибору з використанням суперкритерію на конкретному прикладі. Нехай замовнику потрібно вибрати місце проживання. Причому він бажає проживати в одному з, скажімо, п'яти міст, але з найкращими для нього умовами.

Для рішення задачі залучається системний аналітик. Спочатку він разом із експертами відбирає ряд показників, за якими буде оцінюватися кожне з цих десяти міст. При цьому, як ми відзначали раніше, необхідно отримати компроміс між їхньою кількістю і повнотою опису моделі (у даному випадку повнотою опису умов проживання). В якості таких показників можуть бути приведені рівень безробіття, рівень доходу, плата за житло, стан суспільного порядку, рівень медобслуговування, расова рівність, рівень освіти, якість повітря, стан транспортної мережі і т. ін. Усього, припустимо, відібрано сім основних показників, суттєвих для конкретного замовника. Далі розставляються місця, що займають різні міста відповідно до кожного з показників (1 – найвище місце). При цьому системний аналітик використовує або наявні статистичні дані, або знову залучає експертів, але вже в інших галузях. У нашому випадку дані узяти із звіту інституту будівництва Вашингтона за 1973р. [6] - табл. 1.

Таким чином, ми отримали місця, які займають кожне з вибраних міст за кожним із показників. Далі кожному з цих міст необхідно за кожним показником присвоїти бал за принципом: якщо даний показник позитивний для замовника, то місту на 1-му місці присуджують 5 балів, на 2-му – 4 бали, якщо ж показник негативний (рівень безробіття), то роблять навпаки (табл. 2).

Тепер за допомогою, наприклад, матриці переваги (метод бінарних відносин) проводиться оцінка важливості кожного з даних показників для замовника. При цьому попарно порівнюються усі показники і, якщо один з них для даного замовника переважає, то у відповідній клітиночці ставлять 2 бали, а іншому – 0 балів. Якщо показники приблизно рівні, то ставлять по 1 балу. Так, якщо замовник страждає хворобою дихальних органів, то для нього на першому місці виявиться якість повітря (як у табл. 3), якщо замовник – людина не з білою шкірою, то для нього в числі визначаючих буде расова рівність і т. ін.

Таблиця 1

Місце різних міст за показниками

Місто	Показник				
	Рівень доходу	Плата за житло	Суспільний порядок	Рівень освіти	Якість повітря
Чікаго	2	4	3	3	5
Вашингтон	4	3	4	1	2
Нью-Йорк	1	5	5	4	3
Філадельфія	5	2	1	5	4
Даллас	3	1	2	2	1

Місто	Показник				
	Транс-порт	Рівень безробіття	Расова рівність	Медицина	Розваги
Чікаго	5	2	2	5	3
Вашингтон	4	1	4	1	2
Нью-Йорк	1	5	1	2	1
Філадельфія	2	4	5	4	4
Даллас	3	3	3	3	5

Таблиця 2

Числові величини (u_i) для різних міст за показниками

Місто	Показник				
	Рівень доходу	Плата за житло	Суспільний порядок	Рівень освіти	Якість повітря
Чікаго	4	2	3	3	1
Вашингтон	2	3	2	5	4
Нью-Йорк	5	1	1	2	3
Філадельфія	1	4	5	1	2
Даллас	3	5	4	4	5

Місто	Показник				
	Транс-порт	Рівень безробіття	Расова рівність	Медицина	Розваги
Чікаго	1	2	4	1	3
Вашингтон	2	1	2	5	4
Нью-Йорк	5	5	5	4	5
Філадельфія	4	4	1	2	2
Даллас	3	3	3	3	1

Номери показників: 1 – рівень доходу, 2 – плата за житло, 3 – суспільний порядок, 4 – рівень освіти, 5 – якість повітря, 6 – транспорт, 7 – рівень безробіття, 8 – расова рівність, 9 – медицина, 10 – розваги.

Таблиця 3

Матриця переваги відібраних показників

		Показник									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Показ- ник	1	-	2	1	2	0	2	2	2	0	1
	2	0	-	1	2	0	2	1	2	1	2
	3	1	1	-	2	0	1	1	2	1	2
	4	0	0	0	-	0	0	1	2	1	1
	5	2	2	2	2	-	2	2	2	2	2
	6	0	0	1	2	0	-	0	1	1	2
	7	0	1	1	1	0	2	-	2	1	2
	8	0	0	0	0	0	1	0	-	0	1
	9	2	1	1	1	0	1	1	2	-	2
	10	1	0	0	1	0	0	0	1	0	-

Далі підраховують суму за кожним показником (горизонтальні рядки) та вагові множники (w_i), що дорівнюють кількості балів, поділених на їх загальну кількість – табл. 4.

Таблиця 4

Визначення вагових множників

		Сума балів	Загальна кількість балів	Ваговий множник (w_i)
Показ- ник	1	12	90	0,133
	2	11		0,122
	3	11		0,122
	4	5		0,056
	5	18		0,200
	6	7		0,078
	7	10		0,111
	8	2		0,022
	9	11		0,122
	10	3		0,033

У підсумку за формулою (1) (с. 34) для кожного міста ми одержуємо більш-менш об'єктивну числову характеристику умов життя з виправленням на пріоритети замовника.

В нашому випадку, наприклад, для Чікаго будемо мати:

$$F = 0,133 \cdot 4 + 0,122 \cdot 2 + 0,122 \cdot 3 + 0,056 \cdot 3 + 0,2 \cdot 1 + 0,078 \cdot 1 + 0,111 \cdot 2 + 0,022 \cdot 4 + 0,122 \cdot 1 + 0,033 \cdot 3 = 2,119.$$

Аналогічно для інших міст отримаємо:

Вашингтон $F = 3,009$;

Нью-Йорк $F = 3,329$;

Філадельфія $F = 2,775$;

Даллас $F = 3,753$.

Ясно, що місто з найбільшим значенням F і буде шуканим для замовника містом. В нашому випадку це буде Даллас, на другому місці буде йти Нью-Йорк і т.д. Найбільш небажаним виявляється Чікаго.

Аналізуючи отримані дані, треба звернути увагу на те, що хоча Нью-Йорк і має достатньо високі бали ("5" і "4" за показниками 1, 6-10), але, так би мовити, "не за тими показниками", тобто для замовника в нашому випадку вони не мають первісного значення. Що ж стосується Далласа, то його середні бали у сукупності виявляються більш важливими.

Теми семінарських занять

1. Історія і статус загальної теорії систем.
2. Загальна теорія систем. Огляд проблем і результатів.
3. Організація системних досліджень і їхні основні сфери.
4. Системний аналіз в економіці й організації виробництва.
5. Методологія системних досліджень.
6. Роль міста в системі розселення.
7. Особливості функціонально-просторової організації сучасного міста.
8. Переймальність в еволюції міста.
9. Транспортні комунікації як структуроутворюючий фактор у сучасному місті.
10. Еволюція містобудівного мислення.
11. Містобудівне проектування - інструмент керування розвитком міста. Стратегія містобудівного проектування.
12. Містобудівний проект і прогноз розвитку міста.
13. Використання кількісних методів у містобудівному прогнозуванні і проектуванні.
14. Система "місто" і її властивості. Системний підхід до вивчення міста.
15. Ієрархічні рівні життєвого середовища людини.
16. Структурно-функціональна організація системи "місто".
17. Розвиток системи "місто" у просторі і в часі.
18. Моделі системи "місто". Формальний опис класу систем "місто". Відстань у просторі міста.
19. Показники території міста.
20. Моделі підсистем "місьکوутворююча база", "обслуговування", "населення" (соціально-демографічний склад).
21. Моделі взаємодії підсистем.
22. Особливості планувальних структур і планувальних рішень міста.
23. Класифікація задач оптимального планування міської системи. Задачі оптимізації транспортних мереж.
24. Ігрові задачі. Суперечливі інтереси системи "місто".
25. Аналіз розвитку великого міста. Інформаційне забезпечення.
26. Моделювання й аналіз пасажиропотоків у транспортній підсистемі. Моделі внутріміських міграцій населення.
27. Прогноз розвитку транспортної підсистеми.

Зміст

Вступ	3
1. Роль системних уявлень у практичній діяльності людини ..	4
1.1. Попередні зауваження	4
1.2. Роль системних уявлень в практичній діяльності	5
1.3. Системність – загальна властивість матерії	8
2. Розвиток системних уявлень	9
2.1. Історичні віхи розвитку системних уявлень	9
2.2. Формування системного аналізу як окремої науки	12
3. Система: визначення, структура, класифікація	14
3.1. Визначення системи	14
3.2. Поняття, що характеризують структуру і функціонування систем	15
3.3. Класифікація систем	19
4. Компоненти системних досліджень	20
4.1. Загальний алгоритм проведення системного аналізу	20
4.2. Формування проблеми	21
4.3. Виявлення цілей	22
4.4. Формування критеріїв	24
4.5. Генерування альтернатив	25
5. Моделі і моделювання	27
5.1. Широке тлумачення поняття моделі	27
5.2. Моделювання - невід'ємний етап усякої цілеспрямованої діяльності	28
5.3. Моделі систем	30
6. Вибір (прийняття рішення)	33
6.1. Різноманіття задач вибору	33
6.2. Разовий індивідуальний вибір	35
6.3. Груповий вибір	37
6.4. Вибір і відбір	39
7. Заключні етапи системного аналізу	40
7.1. Декомпозиція і агрегування	40
7.2. Спостереження і експерименти над досліджуваною системою	43
7.3. Реалізація результатів аналізу	45
7.4. Заклучні зауваження	46
Список літератури	47
Додаток А. Проведення разового індивідуального вибору	48
Додаток Б. Теми семінарських занять	52

Казакевич М.І.
Банніков Д.О.

ВСТУП ДО СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Конспект лекцій

Редактор Мацкевич Т.В.

Підписано до друку 23.10.01р. Формат 60х84 1/16. Папір для множних апаратів. Ризограф. Умов. друк. арк. 3,2. Обл.-видавн. арк. 3,0. Тираж 100 прим. Замовл. № 188. Видавн. № 77. Безкоштовно.

Дніпропетровський державний технічний університет
залізничного транспорту.

Адреса університету та дільниці оперативної поліграфії:
49010, Дніпропетровськ, 10, вул. акад. В.А. Лазаряна, 2.