1. Складна технічна система – об'єкт досліджень та проектування

Під системою зазвичай мається на увазі сукупність пов'язаних один з одним різних елементів, що становлять щось ціле. Так, наприклад, літак, корабель, радіолокатор, університет, завод, виробниче об'єднання, галузь промисловості, народне господарство країни – це всі системи. По суті, будь-яка складна система складається з безлічі систем, кожна з яких є частиною більшої системи. Завжди можна уявити більш широку систему, в яку входить дана, і завжди можна виділити з даної системи якусь її частину, яка є більш обмеженою системою.

Розглянемо приклади з галузі авіакосмічної техніки. Те, що літальний апарат (ЛА) є системою взаємопов'язаних частин, цілком очевидно. В ієрархічній драбині систем, що включає літальний апарат, рівень ЛА можна розглядати як базовий або початковий. Спускаючись вниз сходами рівнів, можна виділити у складі ЛА такі компоненти, як агрегати та комплектуючі системи (планер, рухову установку, систему управління, систему навігації, тощо), вузли, прилади, деталі тощо. із зазначених рівнів інженерами різних спеціальностей вирішуються завдання дослідження, проектування та виготовлення відповідних агрегатів, вузлів та деталей.

На рівнях вище ЛА можна уявити ряд ширших систем. Так, наприклад, кілька космічних апаратів (КА), що вирішують загальне завдання, наприклад спостереження за поверхнею Землі, становлять орбітальне угруповання КА – систему КА. На основі системи КА утворюється космічний комплекс - сукупність орбітальних та наземних технічних засобів. Сукупність космічного комплексу та наземного спеціального комплексу (апаратури прийому, передачі та обробки інформації для споживачів) становить космічну систему. До складу космічної системи можуть входити кілька космічних комплексів.

2. Причини та сфери застосування системних методів

Системні методи слід розглядати відповідно до сфери їх застосування. При цьому зручно виділяти такі сфери, як прогнозування розвитку та перспективне планування, проектування та прийняття управлінських рішень. Виділення цих сфер є дещо умовним, оскільки в загальному випадку прийняття рішень охоплює і прогнозування, і планування, і технічне проектування на рівні розробки великих проектів. Проте зростання нині значимості прогнозування та перспективного планування, необхідність безперервного проведення робіт, що забезпечують уточнення прогнозів та перспективних планів на черговий термін, призводить до доцільності виділення проблем прогнозування та перспективного планування в окрему сферу.

Аналогічно специфіка проектування сучасних технічних систем та пристроїв, розгортання робіт з автоматизації проектування призводять до доцільності розгляду проблем проектування як самостійної сфери. Інші завдання: прийняття повсякденних управлінських рішень щодо коригування та контролю за виконанням річних та квартальних планів, оперативне управління виробництвом, облік та періодична звітність – утворюють сферу прийняття управлінських рішень. При цьому велику допомогу надають сучасні автоматизовані системи управління, ефективність застосування яких, у свою чергу, можна істотно підвищити, якщо при їх розробці та впровадженні врахувати особливості конкретної системи, закономірності її функціонування та розвитку, велику допомогу у вивченні яких надає застосування методів та моделей системного аналізу.

Докладніше розглянемо необхідність застосування системного аналізу з прикладу сфери управлінських рішень. У цій сфері необхідність застосування системних методів виявилася раніше за інших. Зростання обсягів управлінської інформації та пов'язане з цим збільшення відповідного персоналу (ситуація, образно названа академіком В. М. Глушковим другим інформаційним бар'єром і що загрожувала, якби не було розпочато широке впровадження АСУ, перетворити все працездатне населення на управлінських працівників) до необхідності з'ясування причин такого стану та пошуку нових методів та засобів управління.

3. Поняття, що характеризують будову та функціонування систем

Поняття, що розглядаються нижче, за допомогою яких уточнюють уявлення про систему і характеризують її будову і функціонування, тісно пов'язані між собою і, на думку ряду вчених (у тому числі Л. фон Берталанфі), не можуть бути визначені незалежно, а визначаються одне через інше, уточнюючи одне одного. Тому прийняту нами послідовність викладу понять слід вважати умовною.

Елемент. Під елементом прийнято розуміти найпростішу неподільну частину системи. Відповідь на питання, що є такою частиною, може бути неоднозначною і залежить від мети розгляду об'єкта як системи, від погляду на нього або від аспекту вивчення. Таким чином, під елементом слід розуміти межу членування системи з погляду вирішення конкретної задачі, з погляду поставленої мети.

Систему можна розчленувати на елементи у різний спосіб залежно від формулювання мети та її уточнення у процесі дослідження.

Визначаючи елемент, нам довелося використати поняття мети, яке буде охарактеризовано пізніше, тому поруч ми поставили поняття аспекту, проте точніше використати поняття мети.

Підсистеми. Система може бути розділена на елементи не відразу, а послідовним розчленуванням на підсистеми, які є компонентами більшими, ніж елементи, і в той же час більш детальними, ніж система в цілому. Можливість розподілу системи на підсистеми пов'язана з відокремленням сукупностей взаємопов'язаних елементів, здатних виконувати відносно незалежні функції, підцілі, спрямовані на досягнення загальної мети системи. Назвою підсистема підкреслюється, що така частина повинна мати властивості системи (зокрема, властивість цілісності, що розглядається нижче). Цим підсистема відрізняється від простої групи елементів, для якої не сформульована підціль та не виконуються властивості цілісності (для такої групи використовується назва компоненти).

Структура. Як мовилося раніше, система може бути визначена простим перерахуванням елементів, які входять у неї і взаємодіючих в такий спосіб, що це призводить до утворення цілісних (системних) властивостей, чи «чорним ящиком» з входами і виходами, взаємодіючими із середовищем. Однак при дослідженні об'єкта ставиться завдання не просто відокремити об'єкт від середовища, а потрібно з'ясувати більш детально, що являє собою об'єкт або процес, що в ньому забезпечує виконання поставленої мети.

Якщо для вирішення задачі виявляється достатнім визначити елементи та зв'язки між ними та цих елементів та зв'язків відносно небагато, то інших понять і не потрібно. Однак, як правило, елементів виявляється дуже багато, вони є неоднорідними і виникає необхідність багатоступеневого розчленування системи. І тут вводиться поняття структури. Структура (від латинського слова structure, що означає будову, розташування, порядок) відбиває найбільш суттєві взаємини між елементами та його групами (компонентами, підсистемами), які мало змінюються при змінах у системі та забезпечують існування системи та її основних властивостей.

Найчастіше поняття структури прийнято пов'язувати з графічним відображенням. Однак, це не обов'язково. Структура може бути представлена також у вигляді теоретико-множинних описів, у вигляді матриць, графів та інших мов моделювання структур.

Структурні зв'язки відносно незалежні від елементів можуть виступати як інваріант при переході від однієї системи до іншої. Завдяки цьому закономірності, отримані щодо систем, що відображають об'єкти однієї природи, можуть бути використані при дослідженні систем, що відображають об'єкти іншої фізичної природи (якщо, звичайно, вони зафіксовані в структурі).

Структуру часто прагнуть у вигляді ієрархії. Термін ієрархія («багатоступінчастість», «службові сходи») визначає впорядкованість компонентів за ступенем важливості. Між рівнями ієрархічної структури можуть існувати взаємовідносини строгого підпорядкування компонентів (вузлів) нижнього рівня одному з компонентів вищого рівня, тобто відношення так званого деревоподібного порядку.

Зв'язок можна охарактеризувати напрямом, силою, характером (чи видом). За першими двома ознаками зв'язку можна розділити на спрямовані та ненаправлені, сильні та слабкі (можна в принципі запровадити «шкалу» сили зв'язку для конкретного завдання; у гл. 6 розглянуто поняття вектора логічного зв'язку та її величини), а за характером — на зв'язку підпорядкування зв'язку породження (або генетичні), рівноправні (або байдужі), зв'язки управління. Деякі з цих типів можна розділити більш детально: наприклад, зв'язки підпорядкування можуть бути типу "рід - вид", "частина - ціле", зв'язки породження - типу "причина - слідство". Зв'язку можна розділити також за місцем застосування (внутрішні та зовнішні), за спрямованістю процесів у системі в цілому або в окремих її підсистемах (прямі та зворотні) та за деякими більш приватними ознаками.

Зв'язки в конкретних системах можуть бути охарактеризовані одночасно кількома з названих ознак. Відповідно можна утворити стільки класів зв'язків, скільки можливо поєднань ознак, крім несумісних поєднань.

Дуже важливу роль системах грає поняття зворотний зв'язок, добре знайоме всім інженерам. Це поняття, що легко ілюструється на прикладах технічних пристроїв, не завжди можна

Стан. Поняттям стан зазвичай характеризують миттєву фотографію, зріз системи, зупинку в її розвитку. Його визначають або через вхідні дії та вихідні сигнали (результати), або через макропараметри, макровластивості системи (наприклад, тиск, швидкість, прискорення). Так, говорять про стан спокою (стабільні вхідні дії та вихідні сигнали), про стан рівномірного прямолінійного руху (стабільна швидкість) тощо.

Більш повно поняття стан можна визначити, якщо розглянути елементи (або компоненти, функціональні блоки), що визначають стан, е, врахувати, що «входи» можна розділити на керуючі у та обурюючі х (неконтрольовані) і що «виходи» (вихідні результати, сигнали ) Залежать від е, у і х, тобто gt = f (et, yt, xt). Тоді залежно від завдання стан може бути визначений як {е, у}, {е, у, g} або {е, у, x, g}.

Поведінка. Якщо система здатна переходити з одного стану в інший (наприклад, Si-^s2-^s3), то кажуть що вона має поведінку. Цим поняттям користуються, коли невідомі закономірності переходів із одного стану до іншого. Тоді кажуть, що система має якусь поведінку і з'ясовують її закономірності. З урахуванням введених вище позначень поведінку можна як функцію st = f(st-\, yt, xt).

Рівнява. Поняття рівноваги визначають як здатність системи без зовнішніх обурювальних впливів (або при постійних впливах) зберігати свій стан як завгодно довго. Пояснюють зазвичай це поняття з прикладів, особливо для складних соціально-економічних систем {2.11].

Стійкість. Здатність системи повертатися в стан рівноваги після того, як вона була з цього стану виведена під впливом зовнішніх впливів, що обурюють, називаю стійкістю. Ця здатність зазвичай властива системам при постійному у тільки якщо відхилення не перевищують деякої межі.

Стан рівноваги, який система здатна повертатися, за аналогією з технічними пристроями називають стійким станом рівноваги. Відповідно в складній системі можливі нестійкі стани, або стану рівноваги, повернення в які супроводжується коливальним процесом. Рівновість і стійкість в економічних та організаційних системах — набагато складніші поняття, ніж у техніці, і донедавна ними користувалися лише деякого попереднього описового ставлення до системі. Останнім часом з'явилися спроби формалізованого відображення цих процесів і в складних організаційних системах, що допомагають виявляти параметри, що впливають на їх перебіг та взаємозв'язок.

Розвиток. Дослідженню процесу розвитку, співвідношення процесів розвитку та стійкості, вивченню механізмів, що лежать у їх основі, приділяють у кібернетиці та теорії систем велику увагу. Поняття розвитку допомагає пояснити складні термодинамічні та інформаційні процеси в природі та суспільстві.

Ціль. Застосування поняття ціль та пов'язаних з ним понять цілеспрямованості, цілеспрямованості, доцільності стримується труднощами їхнього однозначного тлумачення в конкретних умовах. Це з тим, що целеобразования і відповідний йому процес обгрунтування цілей в організаційних: системах дуже складний і остаточно вивчений. Його дослідженню велику увагу приділяється в психології, філософії, кібернетиці.

4. Закономірності систем

Цілісність. Закономірність цілісності проявляється у системі у виникненні «нових інтегративних якостей, не властивих її компонентам». Прояв цієї закономірності пояснюється зазвичай змістовних прикладах поведінки живих організмів, популяцій, суспільних систем.

Для того щоб глибше зрозуміти закономірність цілісності, необхідно розглянути дві її сторони: 1) властивості системи (цілого) не є сумою властивостей елементів або частин («несводимість цілого до простої суми частин»); 2) властивості системи (цілого) залежать від властивостей елементів («зміна в одній; частини викликає зміну у всіх інших частинах та у всій системі»).

Істотним проявом закономірності цілісності є нові взаємовідносини системи як цілого із середовищем, відмінні від взаємодії із нею окремих елементів.

Властивість цілісності пов'язана з метою, на виконання якої призначена система. При цьому якщо мета не задана в явному вигляді, а у відображуваного об'єкта виявляються цілісні властивості, то мета (у вигляді системотворчого критерію, кінцевого результату тощо) або, принаймні, доцільність може бути визначена шляхом вивчення властивостей системи як цілого, причини»; Поява закономірності цілісності.

Інтегративність. Цей термін часто вживається як синонім цілісності. Однак їм зазвичай підкреслюють інтерес не до зовнішніх факторів прояву цілісності, а до глибших причин формування цієї властивості і, головне, його збереження. Інтегративними називають системоутворюючі, системозберігаючі фактори, важливими серед яких є неоднорідність і протирічність її елементів.

Комунікативність. Ця закономірність становить основу визначення системи: 1) вона утворює особливу єдність із середовищем; 2) як правило, будь-яка досліджувана система є елементом системи вищого порядку; 3) елементи будь-якої досліджуваної системи, у свою чергу, зазвичай виступають як системи нижчого порядку.

Іншими словами, система не ізольована, вона пов'язана безліччю комунікацій із середовищем, яке не однорідне, а є складною освітою, містить надсистему (або навіть надсистеми), що задає вимоги та обмеження досліджуваної системі, підсистеми та системи одного рівня з аналізованої.

Ієрархічність. Сказане дозволяє легко перейти до ієрархічності як закономірності побудови всього світу та будь-якої виділеної із нього системи. «Ієрархічна впорядкованість» тісно пов'язана з явищами диференціації та негентропійними явищами в системах і є одним із найважливіших засобів дослідження систем.

Всі ми добре уявляємо прояв ієрархічної впорядкованості в природі, починаючи від атомно-молекулярного рівня і закінчуючи людським суспільством. Але не завжди, навіть

Еквіфінальність. Це поки що одна з найменш досліджених закономірностей. Вона характеризує хіба що граничні можливості систем певного класу складності. Визначається еквіфінальність стосовно «відкритої» системи як «здатність на відміну від станів рановаги в закритих системах, повністю детермінованих початковими умовами,... досягати не залежить від часу стану, який не залежить від її вихідних умов та визначається виключно параметрами системи».

Історичність. Ця закономірність почала досліджуватися порівняно недавно. Хоча з погляду діалектичного та історичного матеріалізму очевидно, що будь-яка система не повинна бути незмінною, що вона не тільки функціонує, а й розвивається, і ми легко можемо навести приклади становлення, розквіту, занепаду і навіть смерті біологічних та суспільних систем, все ж для конкретних випадків розвитку організаційних та технічних систем важко визначити ці періоди. Не завжди навіть керівники організацій та конструктори складних технічних комплексів враховують, що час є неодмінною характеристикою системи, що кожна система історична і що така сама закономірність, як цілісність, інтегративність та ін.

Відома й основа закономірності історичності – внутрішні суперечності між компонентами системи. Але як управляти розвитком чи навіть розуміти наближення відповідного періоду розвитку системи, ці питання ще мало досліджені.

Останнім часом на необхідність урахування закономірності історичності починають звертати дедалі більше уваги. Зокрема, в системотехніці при створенні складних технічних комплексів вимагають, щоб вже на стадії проектування системи розглядалися не тільки питання створення та забезпечення розвитку системи, але й питання, як і коли потрібно її знищити (можливо, передбачивши і «механізм» знищення системи) подібно до того, як ми передбачаємо «механізми» розвитку системи).

Закон необхідної різноманітності. Закономірність, відому під цією назвою, вперше сформулював У. Р. Ешбі [2.26]. Він довів теорему, на основі якої можна зробити висновок, що для того, щоб створити систему, здатну впоратися з вирішенням проблеми, що володіє певною, відомою різноманітністю, потрібно, щоб система мала ще більшу різноманітність, ніж розмаїтість вирішуваної проблеми, або була здатна створити у собі ця різноманітність. Цей закон досить широко застосовується практично. Він дозволяє, наприклад, отримати рекомендації щодо вдосконалення системи управління підприємством [2.2].

Закономірність здійсненності та потенційної ефективності систем. Розвиваючи ідею щодо потенційної здійсненності системи. Б. С. Флейшман [2.23] пов'язує складність структури системи зі складністю поведінки, пропонує кількісні висловлювання граничних законів надійності, завадостійкості, керованості та інших якостей системи та показує, що на їх основі можна отримати кількісні оцінки порогів здійсненності систем з точки зору того чи іншого якості, а поєднуючи якості - граничні оцінки життєздатності та потенційної ефективності складних систем.

Закономірності цілеутворення. Дослідженню процесу цілеутворення у складних системах велика увага приділяється у філософії, психології, кібернетиці.

5. Класифікації систем

Поділ систем за ступенем організованості за аналогією з класифікацією проблем. Клас добре організованих та погано організованих (або дифузних) систем. Якщо додати до них ще клас самоорганізованих систем, об'єднавши цією назвою (для єдності основи класифікації — за ступенем організованості) аналізовані раніше окремо класи саморегулівних, самонавчаться, саморозвиваються тощо, то виходить класифікація, класи якої можна досить чітко розмежувати за допомогою характерних для кожного їх ознак, дозволяють поставити у відповідність різним класам методи формалізованого уявлення систем і методи уявлення цілей у яких. Ми характеризуватимемо виділені класи, як підходи до відображення об'єкта або розв'язуваного завдання:

1. Уявити аналізований об'єкт (або процес прийняття рішення) у вигляді добре організованої системи означає визначити елементи системи, їх взаємозв'язок, правила об'єднання у більші компоненти, тобто визначити зв'язки між усіма компонентами та цілями системи, з погляду яких розглядається об'єкт або задля досягнення яких створюється система. У цьому випадку завдання вибору цілей та вибору коштів не поділяються.

2. При поданні об'єкта у вигляді погано організованої або дифузної системи не ставиться завдання визначити всі компоненти, що враховуються, їх властивості і зв'язки між ними і цілями системи. Система характеризується деяким набором макропараметрів і закономірностями, які знаходяться на основі дослідження не всього об'єкта або класу явищ, а на основі певної за допомогою деяких правил вибірки компонентів, що характеризує об'єкт, що досліджується, або процес. На основі такого вибіркового дослідження набувають характеристики чи закономірності (статистичні, економічні) та поширюють їх на всю систему в цілому. У цьому робляться відповідні застереження. Наприклад, при отриманні статистичних закономірностей їх поширюють на поведінку всієї системи з якоюсь ймовірністю.

3. Відображення об'єкта у вигляді системи, що самоорганізується, - це підхід, який дозволяє досліджувати реальні найменш вивчені об'єкти і процеси. Клас самоорганізуються, що розвиваються систем характеризується низкою ознак, що наближають їх до реальних об'єктів, що розвиваються. Вони мають ознаки, характерні для дифузних систем: стохастичністю поведінки, нестаціонарністю окремих параметрів і процесів.