

СИСТЕМНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТА

Юрий Короб

В статье излагаются теоретические основы системной ориентации при исследовании статического объекта: даются определения основных терминов, кратко характеризуются виды и свойства систем, типы связей, множественное описание системы в процессе исследования. Предлагается метод количественной оценки приоритетов и сложности системы или её элемента на основе определения информативности системообразующих факторов. В заключительной части приводится пример решения сложной многофакторной задачи, в которой статический объект рассматривается как псевдодинамическая система.

Ключевые слова: система, связь, структура, фактор, виды описания системы, количество информации, приоритеты, сложность.

1. Введение

Термин «система» весьма распространён в науке, технике, в быту [1]. Астрономы говорят о Солнечной системе, математики о системе уравнений, педагоги о системе воспитания, медики о нервной системе и т.д. Наиболее общие определения терминов «система» и «системная ориентация» следующие:

***система** – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих определённую целостность, единство ©;*

***системная ориентация, системный подход** – направление методологии научного познания и социальной практики, в основе которого лежит рассмотрение объектов как систем с одновременным учётом нескольких типов связей ©.*

2. Основные положения общей теории систем

Основными свойствами системы являются [2]:

- целостность – систему можно выделить из окружающей среды и сопоставить с другими подобными системами,
- иерархичность – любой элемент системы можно расчленить на более мелкие подсистемы, а также определить систему более высокого уровня иерархии, в которую этот элемент входит в качестве одной из составляющих подсистем;
- неопределённость – свойства и состояние одной подсистемы не дают полного представления о свойствах и состоянии всей системы, и наоборот.

Наиболее доступным примером живой системы является человек как представитель биологического вида:

- его можно выделить из среды других биологических видов,
- в организме человека можно выделить: подсистемы 1-го порядка – систему кровообращения, нервную систему, систему пищеварения и т.д.; подсистемы 2-го порядка – внутренние органы, составляющие подсистемы 1-го порядка; подсистемы 3-го порядка – структурные элементы внутренних органов и т.д.,
- из состояния одной подсистемы невозможно определить состояние других подсистем или всей системы в целом.

Системы можно типизировать различным образом в зависимости от критерия:

- по отношению к жизни – живые, неживые;
- по степени сложности – простые, сложные;
- по степени активности – статические, динамические;
- по отношению к окружающей среде – закрытые, открытые;
- по степени определённости – детерминированные, вероятностные и т.д.

Задать систему, т.е. исследовать её – значит разработать не менее четырёх её описаний: дескриптивное (вербальное), морфологическое, информационное и функциональное.

Дескриптивное описание системы

Представляет собой описание системы в терминах той области знаний, в которой исследуется объект; системный подход не влияет на такое описание. Некоторые исследователи усмотрели признаки тавтологии в самом названии описания и предложили заменить его на вербальное, т.е. словесное. Но рассматриваемое описание может включать также графики, рисунки, таблицы, математические выражения и т.д. Поэтому название остаётся прежним.

Морфологическое описание системы

Включает определение границ и структуры системы, выявление и описание связей.

Г р а н и ц ы во многом зависят от целей исследования и решаемых практических задач.

С т р у к т у р а системы определяется строением объекта и целями исследования. Системное структурирование может существенно отличаться от традиционного. Например, в дескриптивном описании Солнечной системы графическая иллюстрация будет такой: в центре Солнце, вокруг него концентрические окружности – орбиты, по которым движутся планеты, вокруг некоторых планет – их естественные спутники. С системной точки зрения такая графическая иллюстрация представляет собой скорее не структуру, а геометрию Солнечной системы.

При системном подходе структура Солнечной системы будет иметь вид, представленный на рис.1, где сокращение ЕС означает «Естественные Спутники». Схема намеренно упрощена, но наглядно иллюстрирует принцип системного структурирования, выделяя различные уровни (порядки) подсистем.

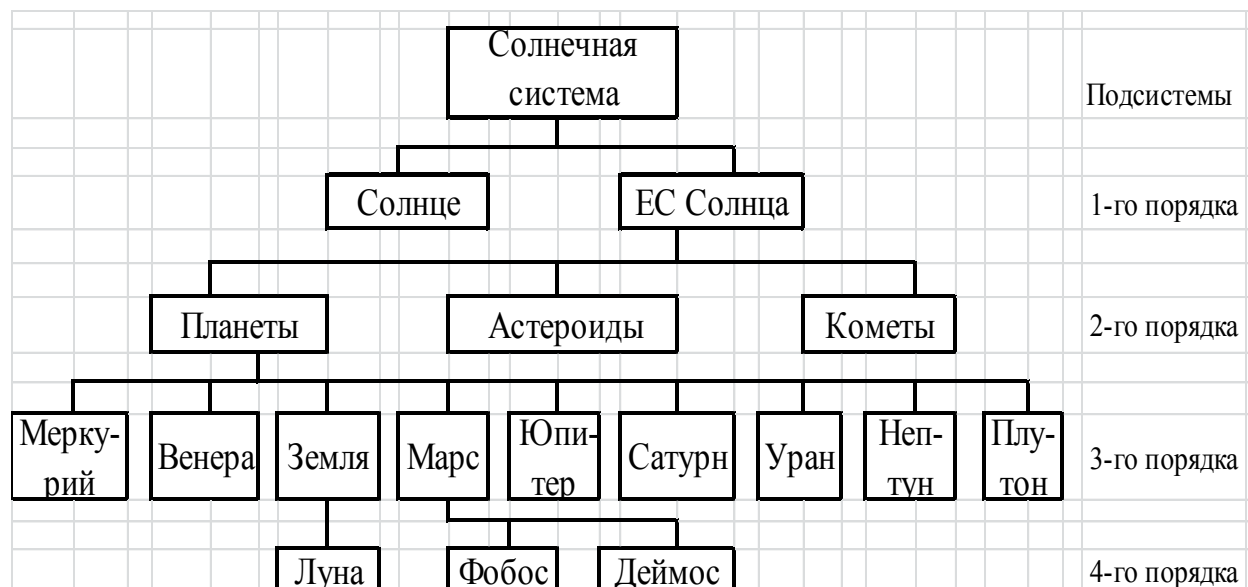


Рис.1. Структура Солнечной системы

С в я з и системы. Дадим определение нескольких терминов:

- **фактор** – причина, движущая сила процесса, явления, объекта, определяющая его характеристики или отдельные черты ©;

- **существенные факторы** – факторы, учитываемые при оценке связей и состояний системы для решения конкретной практической задачи;
- **связь** – соответствие между значениями или свойствами факторов.

Связи могут быть типизированы различным образом – в зависимости от критерия;

- по характеру – количественные, пространственные, информационные и др.;
- по числу участвующих факторов – единичные, парные, множественные;
- по отношению к системе – внутренние, внешние;
- по отношению к структурным элементам – горизонтальные, вертикальные и т.д.

Установление наличия связей и их множественное (различными средствами) описание является одним из мощных источников получения дополнительных знаний об объекте исследования.

Информационное описание системы

Такое описание статического объекта весьма специфично. Здесь нет каналов связи, потоков распорядительной, отчётной и прочей информации. Главное в этом описании – вычисление информативности факторов в системе и её элементах, оценка влияния информативности факторов на формирование сложности системы и её элементов и на способы решения практической задачи, выявление наличия и оценка тесноты информационных связей.

Количество информации – числовая характеристика информации, отражающая ту степень неопределённости, которая исчезает после получения информации ©.

Количество информации $I(F)$ численно равно полной энтропии (неопределённости) $H(F)$ фактора при невыявленных его значениях [3]:

$$I(F) = -H(F) = \sum p_i \log_2 p_i, \quad (1)$$

где: p_i – вероятность i -го значения фактора F ,
 \log_2 – двоичный логарифм.

Информативность фактора – количество информации, заложенное в разнообразии его значений.

Информационная связь – соответствие между информативностью системы, подсистем, факторов как на одном, так и на разных уровнях.

Функциональное описание системы

Предполагает анализ и/или прогноз поведения (смены состояний) динамической системы в определённом диапазоне условий. Он может быть описан алгоритмически, аналитически, графически, таблично, в виде временных диаграмм или вербально. Если в процессе исследований представление о статическом объекте меняется существенно, можно уподобить объект **псеводинамической системе** и, сопоставляя представления, т.е. используя псеводинамику, получить дополнительные возможности для установления тренда и для прогнозирования изменения свойств и состояний системы.

В общем виде последовательность действий при применении системного подхода представлена на рис.2.

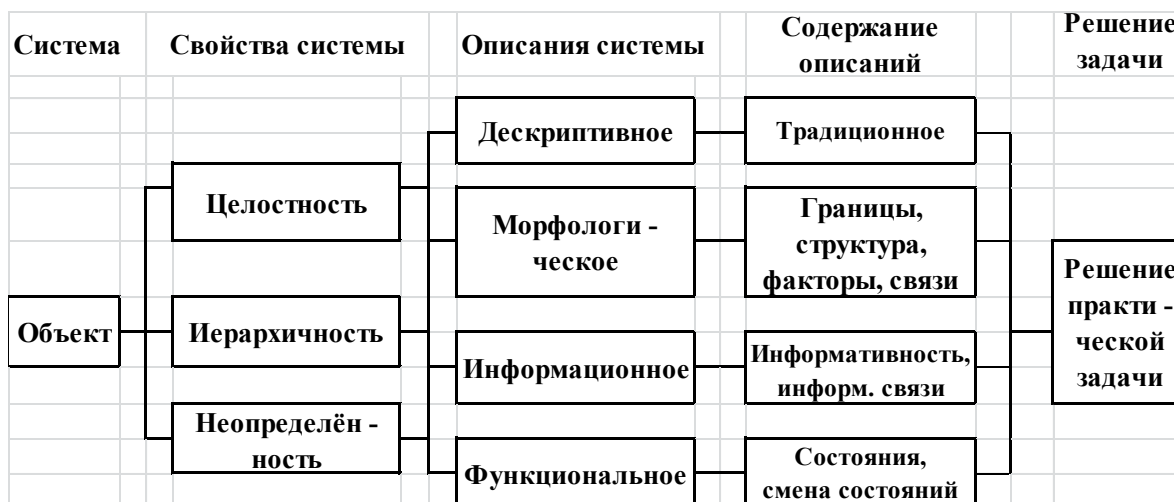


Рис.2. Схема применения системного подхода при решении сложной многофакторной задачи

Если для решения сложной многофакторной задачи предстоит выполнить исследования объекта, то для оценки возможности использования системного подхода следует установить, обладает ли объект свойствами целостности, иерархичности и неопределённости. При положительном ответе можно приступать к описаниям объекта, представляющим собой собственно исследования и их результаты. Промежуточные и конечные результаты исследований используются при решении конкретной практической задачи.

3. Область применения системного подхода

Изложенное выше является достаточным набором сведений из общей теории систем, чтобы воспользоваться системным подходом. Но всякий ли объект целесообразно моделировать как систему? Многое зависит от конечных целей исследования.

Представим себе такую ситуацию. Спеша куда-то, вдруг видим перед собой высыпанную на тротуар кучу глинистой щебёночно-песчаной смеси. Морозящий дождь превратил эту кучу в препятствие, которое мы стремимся преодолеть. Выбирая путь, мы не вспомним ни о какой системе.

Другая ситуация. Крупная строительная компания решила построить склад для хранения упомянутой смеси, для чего поручила специалисту в области строительных материалов выполнить предпроектные исследования.

Специалиста интересуют: минеральный состав смеси, соотношение составных её частей; гранулометрический состав песка и щебня; величина и постоянство угла естественного откоса кучи смеси; свойство слипаемости частиц глины между собой, с песчинками, с кусочками щебня; свойство слёживаемости смеси; коэффициент уплотнения щебня; влияние внешних факторов – температуры и влажности на слёживаемость; возможность сегрегации составляющих при погрузке, транспортировке и выгрузке и т.д. От перечисленных факторов зависит, каким будет склад – открытой площадкой, площадкой с навесом или отапливаемым ангаром – и какими при каждом варианте будут затраты на его строительство. Чтобы не упустить малозаметных, но важных деталей, исполнителю будет очень полезно вспомнить о системном подходе, потому что этот подход, независимо от свойств и природы объекта, уже в общих чертах обозначил круг задач, стоящих перед исследователем, и крупными мазками изобразил «скелет» плана исследований.

Возможно ли применение системного подхода к исследованиям не только объектов, но и процессов и явлений? Обратимся к истории вопроса.

Общую теорию систем в первой трети прошлого столетия предложил Л. фон Берталанфи, **биолог**. Он ссылался на своих предшественников вплоть до Г.В.Лейбница и Парацельса.

Практически одновременно появилась **структурная лингвистика** – языковедческая дисциплина, рассматривающая язык в качестве знаковой системы с чётко выделяемыми структурными элементами и стремящаяся к строгому математическому описанию языка.

Затем структурный анализ стал применяться в других **областях науки** и в **экономике**. Появилось новое направление в **философии**, названное структурализмом, что способствовало осмыслению таких понятий, как система, структура, связь, управление, информация, приоритеты, сложность и т.д. Альтернативная структуризация социума позволила объяснить возникновение новых **общественных явлений**.

В середине прошлого века вышла книга Н.Винера «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине» [4], соединившая понятия «управление» и «связь».

Развитие теории и решение практических задач последовали во время и после Второй мировой войны, особенно интенсивно – в последней трети XX века.

В настоящее время кибернетику называют наукой об управлении сложными системами или даже наукой, изучающей общие закономерности строения сложных систем управления.

Представляется, что применение системного подхода возможно во всех областях знания. Любой предмет исследования можно рассматривать как систему, если он обладает свойствами целостности, иерархичности и неопределённости.

4. Определение приоритетов в условиях неопределённости

В процессе выполнения исследований и решения многофакторных задач часто возникает необходимость оценки приоритетов.

***Приоритет** – понятие, оценивающее важность, значимость (факторов, действий).* ©

Численные значения позволяют объективно сравнивать приоритеты. Способы оценки численных значений напрямую зависят от того, являются факторы и связи между ними детерминированными или вероятностными.

В детерминированных системах факторами могут быть законы природы, специфика технологии, обязательные к исполнению нормативно–правовые акты, финансовые условия, морально–этические нормы и так далее. При любой сложности задача может быть решена строго и однозначно именно в силу детерминированности факторов и/или связей.

Представим себе многоэтажное сооружение (объект) с наземной и подземной частями, оснащённый лифтами, эскалаторами, устройствами водо–, тепло– и электроснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха и т.д., например, аэровокзальный комплекс или стадион. В таком сооружении предусмотрена противопожарная система (ППС), которая в случае возникновения пожара автоматически берёт на себя управление всем инженерным оборудованием. ППС разрабатывается индивидуально для каждого конкретного объекта с его «географией» и «начинкой». Нужная последовательность действий ППС задаётся программным обеспечением, включающим в себя общую для всего объекта систему приоритетов (СП) и локальные СП для каждой части объекта.

Если в каком-то конкретном месте возгорания находятся люди, локальная СП выберет не противоречащие друг другу действия высшего приоритета – оповещение, вывод людей, включение опрыскивающих устройств – и только после выполнения этих

действий закрывает все двери, прекратит подачу свежего воздуха в место возгорания, затем общая СП реверсирует воздушные потоки, откроет/закроет перемычки, двери, заслонки, перенаправит лифты и эскалаторы и т.д. Таким образом, задача решается однозначно.

В условиях неопределённости применяется предложенный в 70-ых годах прошлого века американским учёным Т. Саати метод анализа иерархий [5]. Он определяет приоритеты в широкой постановке: глобальная цель системы, её структура и функции, множество разнородных факторов на разных уровнях иерархии системы, действующие участники внутри и вне системы, набор критериев оценки и т.д. Первым шагом является экспертная оценка значимости факторов, производимая попарно с использованием 9-балльной шкалы:

- 1 – одинаковая значимость, оба фактора равно влияют на конечный результат;
- 3 – первый фактор незначительно важнее второго;
- 5 – первый фактор значительно важнее второго;
- 7 – очевидное преобладание важности первого фактора;
- 9 – абсолютное преобладание важности первого фактора.

Из полученных экспертных оценок составляется матрица, числовые значения в которой нормализуют и применяют в дальнейших математических расчётах.

Метод экспертных оценок универсален – он применим при рассмотрении разнородных факторов. Его недостаток – субъективность: оценки разных экспертов могут различаться и иногда даже быть прямо противоположными. Субъективность оценок в процессе математической обработки редуцируется, но не исключается полностью.

Нами использован иной метод определения значимости (приоритетов) факторов, который обходится без экспертных оценок.

В качестве примера рассмотрим разведку месторождений твёрдых полезных ископаемых. Геологические показатели, являющиеся существенными факторами, разнородны: мощность залежей выражается в метрах, углы падения в градусах, содержание компонентов в процентах, количество тектонических нарушений в числах натурального ряда и т.д. Для определения приоритетов необходимо найти общее для всех факторов свойство, которое позволяло бы сравнивать их друг с другом. Таким свойством является **информативность**.

Действительно, согласно К.Шеннону, в разнообразии значений случайной величины заложена информация, количество которой можно рассчитать по формуле (1). Полное количество информации равно энтропии и потому может служить мерой неопределённости, непредсказуемости. Поэтому *для построения системы приоритетов следует вычислить количество информации каждого существенного фактора и присвоить факторам приоритеты в соответствии с их информативностью*.

Предложенный энтропийно-информационный метод оценки приоритетов может применяться только в том случае, если факторы, которые могут быть самыми разнородными, поддаются счёту и статистической обработке. Например, при планировании размещения в розничных сетях нового товара, спрос на который зависит от возрастных категорий потенциальных покупателей, их национальной и конфессиональной принадлежности, покупательной способности и т.д., можно, воспользовавшись результатами последней переписи населения, определить информативность факторов и построить соответствующую систему приоритетов.

Результаты такой оценки приоритетов объективны и надёжны.

5. Количественная оценка сложности

Как показано выше, количество информации фактора определяет меру неопределённости, вносимую им в общую оценку сложности, формируемую всею

совокупностью факторов. Количественная оценка сложности $C(S)$ системы или её элемента определяется как сумма таких оценок $I(F_j)$ по каждому существенному фактору:

$$C(S) = \sum I(F_j), \quad (2)$$

Формально количественная оценка сложности является описанием множественной информационной связи существенных факторов.

6. Пример практического применения

Целью исследования являлась разработка методики оптимизации параметров геологоразведочных сетей на разрабатываемых месторождениях цветных металлов. Оптимальные параметры сетей должны были обеспечивать **равную разведанность** различных участков месторождения. Актуальность такого рода исследований очевидна, поскольку затраты на эксплуатационную разведку велики – они сопоставимы с затратами на добычу полезного ископаемого.

Месторождения цветных металлов отличаются чрезвычайным разнообразием: различными генезисом, структурой, числом залежей и элементами их залегания, минеральными и геолого-промышленными типами полезных ископаемых, пространственным размещением полезных и вредных компонентов, наличием и параметрами тектонических нарушений и т.д. [6].

Для исследований были использованы три месторождения: Алтын-Топканское полиметаллическое (горы Кармазар, Узбекистан), Гайское медноколчеданное (Южный Урал, Оренбургская обл.) и Заполярное медно-никелевое (Кольский полуостров, Мурманская обл). Исходной информацией служили геологические, маркшейдерские, технологические и экономические данные и показатели.

Этапы решения практической задачи:

- постановка задачи с привязкой к реальному объекту (месторождению, залежи, участку, технологическому блоку), с указанием экономического критерия и допустимой погрешности решения;
- определение границ и структуры системы;
- составление набора геологических факторов, влияющих на решение задачи;
- интерпретация и анализ исходных данных – полное дескриптивное, морфологическое, информационное и функциональное описание системы с обоснованием состояний, множественное описание связей;
- выбор способов решения задачи;
- разработка вариантов решения задачи. Каждый вариант – это результат решения задачи одним способом применительно к одному состоянию системы;
- вычисление экономических оценок вариантов решения задачи;
- установление уровней погрешностей;
- вычисление ожидаемых экономических оценок вариантов с учётом вероятностей погрешностей;
- определение оптимального варианта решения задачи.

Поскольку разведка выполняется поэтапно, планирование каждого последующего этапа базируется на результатах всех предыдущих. Очередной этап даёт более детальное представление обо всех особенностях месторождения. Это позволяет уподобить месторождение не статической, а **псеводинамической** системе. Система как бы функционирует, т.е. меняет состояния, из последовательности которых можно выявлять тренды изменения значений факторов и прогнозировать их последующие оценки.

Равная разведанность участков месторождения достигается увеличением плотности разведочных сетей пропорционально сложности участков: чем сложнее участок, тем плотнее сети, т.е. меньше расстояние между разведочными выработками, и наоборот.

В соответствии с методиками, описанными выше (п.п. 4 и 5), единым свойством всех факторов является информативность (энтропия); приоритеты факторов равны (или пропорциональны) значениям информативности; сложность элемента системы равна сумме значений информативности факторов.

В целях проверки и дальнейшего практического использования этих методик были выполнены следующие работы:

- для каждого из трёх месторождений с участием местных специалистов геологической и маркшейдерской служб составлены наборы существенных геологических факторов. Число таких факторов оказалось равным 10 для Алмалыкского (АМ) и Гайского (ГМ) месторождений и 4 для Заполярного (ЗМ);
- для отдельных участков каждого из трёх месторождений вычислены значения информативности (энтропии) каждого из существенных факторов. В этих объёмных вычислениях были использованы все геологоразведочные и маркшейдерские данные всех стадий разведки.

Количество информации каждого фактора с увеличением объёма исходных данных, т.е. объёма выборки, сначала растёт быстро, затем всё медленнее и, наконец, стабилизируется, варьируя вокруг некоторого среднего значения.

В процессе исследования наиболее приоритетного фактора попутно пополняется информация об остальных существенных факторах; фактор с высшим приоритетом играет роль локомотива, тянущего за собой весь остальной «состав».

Результаты исследований показали, что:

- информативность факторов в пределах одного месторождения существенно различна – на ЗМ в 1,4 раза, на ГМ в 2,2 раза, на АМ в 3.6 раза. Соответственно различаются приоритеты факторов и их вклад в формирование сложности месторождения;
- информативность одного и того же фактора на разных месторождениях может отличаться в два раза. Это говорит об уникальности строения каждого месторождения и о том, что степень влияния одного и того же фактора на формирование сложности разных месторождений различна.

Разработанная методика оптимизации геологоразведочных сетей была подвергнута опытно-промышленной проверке. Получены, в частности, следующие результаты.

Оптимальные параметры разведочных сетей существенно отличаются от принятых на практике (действующих), равных: на АМ 30x35м, на ГМ 50x50м, на ЗМ 60x50м. Оптимальные параметры предполагают разрежение сетей на АМ на 15% и сгущение сетей на ГМ почти в два раза, на ЗМ на 75%. При этом если действующие сети являются регулярными, то в предложенных оптимальных параметры меняются от участка к участку на АМ в 4.6 раза, на ГМ в 2.6 раза, на ЗМ в 1.4 раза, чем достигается одинаковая разведанность различных по сложности участков.

Важнейшим критерием оценки результатов исследований является расхождение между расчётными и фактическими значениями погрешности определения запасов оптимальными сетями. Расхождения составляют всего лишь: на АМ 0.5%, на ГМ 1.3% и на ЗМ 0.5%, что подтверждает верность полученных решений.

7. Выводы

1. Системная ориентация позволяет применять методы различных областей знаний, расширяя таким образом познавательные возможности без привлечения дополнительных исходных данных об объекте исследования.
2. На возможность использования системного подхода не влияет ни область знаний, ни характер объекта. Чем сложнее объект и решаемые практические задачи, тем эффективнее такой подход.
3. Если значения оцениваемых факторов поддаются счёту и статистической обработке, то для количественной оценки приоритетов может применяться информационный метод, результаты которого объективны и надёжны.
4. Количественная оценка сложности системы может базироваться на оценке информативности факторов, учитываемых при определении связей и состояний системы.

Источники

1. В.Н. Садовский. Общая теория систем как метасистема. Вопросы философии. 1972. № 4.
2. Л. фон Берталанфи. Общая теория систем. Чикаго, США, 1931.
3. К. Шеннон. Математическая теория связи. 1948.
4. Н. Винер. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. Нью-Йорк, 1948.
5. Т. Саати. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.
6. Ю.В. Коробченко. Принципы информационной оценки изученности месторождения. В кн.: Геометризация месторождений полезных ископаемых. М.: Недра. 1977.