

## **1.Лекция-визуализация.** Определение и основные понятия системного анализа.

1. Понятие системного анализа
2. Развитие системного анализа
3. Задачи системного анализа
4. Принципы системного анализа

### **1.Понятие системного анализа**

*Системный анализ* — это научно-методологическая дисциплина, которая изучает принципы, методы и средства исследования *сложных объектов* посредством представления их в качестве *систем* и *анализа* этих систем. Таким образом, в системном анализе любой объект рассматривается с учётом его системного характера, то есть не как единое целое, а как комплекс взаимосвязанных составных элементов, их свойств и процессов.

Системный анализ применяется, главным образом, к исследованию *искусственных систем* (социальных, экономических, организационных, технических, человеко-машинных и тому подобных), причём в таких системах важная роль принадлежит *деятельности человека*. Наиболее широкое распространение системный анализ получил в теории и практике *управления*— при выработке, принятии и обосновании решений, связанных с проектированием, созданием и управлением сложными, многоуровневыми и многокомпонентными искусственными системами.

При разработке, конструировании и эксплуатации подобных системам, как правило возникают проблемы, относящиеся не только к свойствам их составных частей (элементов, подсистем и связей), но и к закономерностям функционирования системного объекта в целом и обеспечения его жизненного цикла (общесистемные проблемы), а также широкий круг специфических задач управления, которые решаются при помощи методов системного анализа. В этом смысле системный анализ относят к области *системной инженерии*, которая изучает вопросы проектирования, создания и эксплуатации структурно сложных систем любого масштаба и назначения.

Системный анализ опирается на комплекс общенаучных, специально-научных, экспериментальных, статистических, математических методов. Его теоретическую и методологическую основу составляют *системный подход* и *общая теория систем*, а также методы исследований с привлечением математической логики, математической статистики, теории алгоритмов, теории игр, теории ситуаций, теории информации, комбинаторики, эвристического программирования, имитационного моделирования и ряда других. Хотя его основой считают общесистемные теории, системный анализ, однако, заимствует у них лишь самые общие исходные представления и предпосылки.

В системном анализе тесно переплетены элементы науки и практики, поэтому далеко не всегда обоснование решений с помощью системного анализа связано с использованием строгих формализованных методов и процедур, допускаются и суждения, основанные на личном опыте и интуиции. Важной особенностью системного анализа является единство используемых в нём формализованных и неформализованных средств и методов исследования.

### **2. Развитие системного анализа**

Предпосылки развития системного анализа сложились в первой половине XX века, будучи обусловлены переходом к новому типу научных и технических задач: в целом ряде областей *науки* и *техники* центральное место начинают занимать проблемы организации и функционирования сложных объектов: познание и практика начинает оперировать системами, границы и состав которых далеко не очевидны и требуют специального исследования в каждом отдельном случае. Во второй половине XX века аналогичные по типу задачи возникают и в социальной практике: техника всё более превращается в технику сложных систем, где многообразные технические и другие средства тесно связаны решением единой крупной задачи (например, сложные социально-технические

и человеко-машинные системы); в социальном управлении вместо господствовавших прежде локальных, отраслевых задач и принципов ведущую роль играют крупные комплексные проблемы, требующие тесного взаимоувязывания экономических, социальных и иных аспектов общественных отношений.

Изменение типа научных и практических задач сопровождается появлением общенаучных и специально-научных концепций, для которых характерно использование в той или иной форме основных идей системного подхода. На определённой стадии развития научного и практического знания системные теории начали оформляться в самостоятельные научные и методологические дисциплины, достижения которых затем стали целенаправленно использоваться при комплексном решении инженерно-технических и организационно-управленческих задач, что в итоге привело к появлению нового методологического подхода, получившего название «системный анализ». Наряду с этим, потребности практики почти одновременно со становлением теории систем и системного анализа привели к возникновению родственных направлений, которые в последующем стали объединять термином «системные исследования» (например, кибернетика, исследование операций, теория принятия решений, экспертный анализ, имитационное моделирование, ситуационное управление, структурно-лингвистическое моделирование и другие).

Как самостоятельное направление исследований системный анализ начал оформляться в 1950-х годах, прежде всего в США, где его применение было связано с решением прикладных задач крупного бизнеса, таких как распределение производственных мощностей, определение будущих потребностей в новом оборудовании и в рабочей силе той или иной квалификации, прогнозирование спроса на различные виды продукции и так далее. Одновременно системный анализ все шире проникает и в сферу управленческой деятельности государственного аппарата, в частности при решении проблем, связанных с развитием и техническим оснащением вооружённых сил и с освоением космоса, а также связанных с ними крупных государственных проектов.

В период 1960–1970-х годов широкое распространение идей и методов системного анализа, а также успешное их применение на практике стало возможным только с внедрением и повсеместным использованием вычислительных машин. Именно применение вычислительных машин как инструмента решения сложных задач позволило перейти от построения теоретических моделей систем к широкому их практическому применению. Кроме того, интенсивное расширение сферы использования системного анализа тесно связано с распространением программно-целевого метода управления, при котором специально для решения той или иной важной проблемы составляется программа, формируется организация (учреждение или сеть учреждений) и выделяются необходимые материальные и человеческие ресурсы.

Впоследствии сложились различные школы системного анализа, занимающиеся применением теории систем к исследованию разных сфер — от стратегического планирования и управления предприятиями, до управления проектами технических комплексов и принятия решений по отдельным видам деятельности при возникновении различных проблемных ситуаций в процессе функционирования социально-экономических и технических объектов. В 1972 году в Лаксенбурге, близ Вены, Австрия, создан Международный институт прикладного системного анализа (International Institute for Applied Systems Analysis; IIASA), в работе которого приняли участие 12 стран (в том числе СССР и США). В настоящее время Институт ведёт работу по применению методов системного анализа преимущественно к решению глобальных проблем, требующих международного сотрудничества.

В СССР, начиная с 1960-х годов, активно развивалась советская школа системного анализа и теории систем. Предшественником советской школы системного анализа был А. А. Богданов, предложивший в начале XX века концепцию всеобщей организационной науки — *тектологии*, послужившей предтечей общей теории систем Л. фон Берталанфи.

Основная идея теории Богданова заключается в том, что все существующие объекты и процессы имеют определённый уровень организованности, который тем выше, чем сильнее свойства целого отличаются от простой суммы свойств комплектующих элементов. Именно анализ свойств целого и его частей был впоследствии заложен в качестве основной характеристики понятия сложной системы. Наряду с этим, Богданов изучает не только статическое состояние структур, а занимается исследованием динамического поведения объектов, уделяет внимание вопросам развития организации, подчёркивает значение обратных связей, указывает на необходимость учёта собственных целей организации, отмечает роль открытых систем. При этом он уделяет особое внимание роли моделирования и математического анализа как потенциальных методов решения задач теории организации. Позднее идеи этой теории развивались в трудах И. И. Шмальгаузена, В. Н. Беклемишева и ряда других специалистов. Первые методики системного анализа в СССР были разработаны Ю. И. Черняком, С. А. Валуевым, Е. П. Голубковым. Затем начался период разработки методик структуризации, основанных на философских концепциях. Для развития этого направления при Всесоюзном научно-техническом обществе радиотехники, электроники и связи в 1973 году был создан семинар «Системный анализ в проектировании и управлении» (Ф. Е. Темников, Ю. И. Черняк, В. Н. Волкова). В дальнейшем отдельные школы системного анализа продолжали системные исследования при высших учебных заведениях.

### **3. Задачи системного анализа**

Системный анализ как дисциплина сформировался в результате необходимости исследовать и проектировать *большие* (крупномасштабные) и *сложные* системы, управлять ими в условиях неполноты информации, ограниченности ресурсов и дефицита времени. В системном анализе рассматриваются не любые, а именно большие и сложные системы. Общепринятой границы, разделяющей большие и сложные системы, нет. Однако отмечается, что термин «большая система» характеризует многокомпонентные системы, включающие значительное число элементов с однотипными многоуровневыми связями. Большие системы — это пространственно-распределённые системы высокой степени сложности, в которых подсистемы (их составные части) также относятся к категориям сложных. Дополнительными признаками, характеризующими большую систему, являются:

- большие размеры;
- сложная иерархическая структура;
- циркуляция в системе больших информационных, энергетических и материальных потоков;
- высокий уровень неопределённости в описании системы.

В свою очередь, термин «сложная система» характеризует структурно и функционально сложные многокомпонентные системы с большим числом взаимосвязанных и взаимодействующих элементов различного типа и с многочисленными и разнородными связями между ними. Сложные системы отличаются многомерностью, разнородностью структуры, многообразием природы элементов и связей, организационной разносопротивляемостью и разночувствительностью к воздействиям, асимметричностью потенциальных возможностей осуществления функциональных и дисфункциональных изменений. При этом каждый из элементов подобной системы может быть также представлен в виде системы (подсистемы). К сложной можно отнести систему, обладающую по крайней мере одним из следующих признаков:

- система в целом обладает свойствами, которыми не обладает ни один из составляющих её элементов;
- систему можно разделить на подсистемы и изучать каждую из них отдельно;
- система функционирует в условиях существенной неопределённости и воздействия среды на неё, что обуславливает случайный характер изменения её показателей;
- система осуществляет целенаправленный выбор своего поведения.

Проблема управления сложными системами и составляет основное содержание задач системного анализа. Для того чтобы успешно справиться с этой проблемой, необходимо изучить объект управления — то есть саму систему, а также определить цель управления — выяснить необходимое (целесообразное) состояние системы, то есть состояние, к которому она должна стремиться. Методы и процедуры системного анализа направлены на выявление целей, выдвижение альтернативных вариантов решения проблем, выявление масштабов неопределённости по каждому из вариантов и сопоставление вариантов по тем или иным критериям эффективности, а также связанных организационных задач.

Главной задачей системного анализа является разрешение проблемной ситуации, возникшей перед объектом проводимого системного исследования. Системный анализ занимается изучением проблемной ситуации, выяснением её причин, выработкой вариантов её устранения, принятием решения и организацией дальнейшего функционирования системы, разрешающего проблемную ситуацию. Начальным этапом любого системного исследования является изучение объекта проводимого системного анализа с последующей его формализацией. На этом этапе возникают задачи, в корне отличающие методологию системных исследований от методологии других дисциплин, а именно, в системном анализе решается двуединая задача. С одной стороны, необходимо формализовать объект системного исследования, с другой стороны, формализации подлежит процесс исследования системы, процесс постановки и решения проблемы.

Следующей важной задачей системного анализа является проблема принятия решения. Применительно к задачам исследования, проектирования и управления сложными системами, включающими в себя большое количество элементов и подсистем, проблема принятия решения связана с выбором определённой альтернативы развития системы в условиях различного рода неопределённости. Неопределённость может быть обусловлена наличием множества факторов, не поддающихся точной оценке — воздействием на систему неизвестных факторов, многокритериальностью задач оптимизации, недостаточной определённостью целей развития систем, неоднозначностью сценариев развития системы, недостаточностью априорной информации о системе, воздействием случайных факторов в ходе динамического развития системы и прочими условиями. Ещё один распространённый вид неопределённости представляет собой неопределённость, связанную с последующим влиянием результатов принятого решения на проблемную ситуацию. Дело в том, что поведению сложных систем свойственна неоднозначность, то есть после принятия решения возможны различные варианты поведения системы. Оценка этих вариантов, вероятности их возникновения является также одной из основных задач системного анализа.

Как правило, в условиях указанных неопределённостей выбор альтернативы требует анализа сложной и многосторонней информации. В этом смысле целью применения системного анализа является повышение степени обоснованности принимаемого решения, расширение множества вариантов, среди которых производится обоснованный выбор. Для этого в системном анализе разрабатываются модели принятия решений, методы выбора решений и обоснования критериев, характеризующих качество принимаемых решений. На этапе выработки и принятия решений необходимо учитывать взаимодействие системы с её подсистемами, сочетать цели системы с целями подсистем, выделять глобальные и второстепенные цели.

Другой важной задачей системного анализа является исследование процессов целеобразования, их изучение и разработка средств работы с целями (формулирование, структуризация или декомпозиция целевых структур, программ и планов, а также связей между ними), и это зачастую оказывается более трудной задачей, чем последующий выбор лучшего решения. В этом смысле системный анализ иногда определяют как методологию исследования целенаправленных систем. Формулирование цели при решении задач системного анализа является одной из ключевых процедур, потому что цель является объектом, определяющим постановку задачи системных исследований.

Важное место в системном анализе занимают и задачи организации, в том числе проблемы управления в иерархических системах, выбор оптимальной структуры, оптимальных режимов функционирования, оптимальной организации взаимодействия между подсистемами и элементами и другие организационные задачи. Выявление и решение подобных проблем может быть успешно решено при совместной работе системных аналитиков и специалистов в соответствующей отрасли исследования.

В системном анализе используется современный математический аппарат и вычислительные системы, однако для описания сложных систем, в том числе прогнозирования их поведения, оказывается невозможным опираться только на строгие математические методы. Поэтому в системном анализе широко используются неформальные процедуры, при этом одной из центральных методологических проблем системного анализа, возникающей при изучении сложных систем, является объединение формальных и неформальных методов анализа и синтеза. Основным инструментом, обеспечивающим это объединение, являются имитационные модели, созданные при помощи методов компьютерного моделирования.

Задачей системного анализа является конструирование имитационных систем любой сложности, однако следует отметить, что в системных исследованиях не преследуется цель создания некоей «супермодели», речь идёт о разработке частных моделей, каждая из которых решает свои специфические вопросы. Даже после того как подобные имитационные модели созданы и исследованы, вопрос о сведении различных аспектов поведения системы в некую единую схему остаётся открытым. Однако решить его можно и нужно не посредством построения «супермодели», а анализируя реакции на наблюдаемое поведение других взаимодействующих объектов, то есть путём исследования поведения объектов — аналогов и перенесения результатов этих исследований на объект системного анализа. Такое исследование даёт основание для содержательного понимания ситуаций взаимодействия и структуры взаимосвязей, определяющих место исследуемой системы в структуре суперсистемы, компонентом которой она является.

Отдельную группу задач системного анализа составляют задачи исследования комплекса взаимодействий анализируемых объектов с внешней средой. Решение подобных задач предполагает проведение границы между исследуемой системой и внешней средой, предопределяющей предельную глубину влияния рассматриваемых взаимодействий, которыми ограничивается рассмотрение, определение реальных ресурсов такого взаимодействия, рассмотрение взаимодействий исследуемой системы с системой более высокого уровня. Задачи этого типа связаны с конструированием альтернатив взаимодействия системы с внешней средой, альтернатив развития системы во времени и в пространстве.

#### **4. Принципы системного анализа**

Универсальных методик и способов проведения системного анализа не существует. Чаще всего подобного типа методики разрабатываются и применяются в тех случаях, когда у исследователя нет достаточных сведений о системе, которые позволили бы формализовать процесс её исследования, включающий постановку и решение возникшей проблемы. Общим для всех методик системного анализа является определение закономерностей функционирования системы, формирование вариантов структуры системы (нескольких альтернативных алгоритмов, реализующих заданный закон функционирования) и выбор наилучшего варианта, осуществляемого путём решения задач декомпозиции, анализа исследуемой системы и синтеза системы, и снимающего проблему практики.

Основу построения методики анализа и синтеза систем в конкретных условиях составляет перечень *принципов системного анализа*, которые представляют собой обобщение практики работы со сложными системами. Различные авторы излагают принципы с теми или иными отличиями, поскольку единых общепринятых формулировок

в настоящее время нет. Однако все формулировки в сущности описывают одни и те же понятия. Наиболее часто к системным причисляют следующие принципы:

1. *Принцип конечной цели.* Этот принцип подразумевает приоритет конечной (глобальной) цели, достижению которой должна быть в конечном счёте подчинена деятельность системы. Так, применительно к организации цель определяется как состояние организации, которое необходимо (желательно) достичь к определённом моменту времени, затратив на это определённые (ограниченные) ресурсы (материальные, человеческие и другие). Без ясного понимания цели любое решение может оказаться бессмысленным. Принцип конечной цели включает несколько правил:

- для проведения системного анализа необходимо в первую очередь сформулировать цель исследования; расплывчатые, не полностью определённые цели влекут за собой неверные выводы;

- системный анализ следует вести на основе первоочерёдного уяснения основной цели (функции, основного назначения) исследуемой системы, что позволит определить её основные существенные свойства, показатели качества и критерии оценки;

- при синтезе систем любая попытка изменения или совершенствования должна оцениваться относительно того, помогает или мешает она достижению конечной цели;

- цель функционирования искусственной системы задаётся, как правило, системой, в которой исследуемая система является составной частью.

2. *Принцип измерения.* О качестве функционирования какой-либо системы можно судить только применительно к системе более высокого порядка. Это значит, что для определения эффективности функционирования системы следует представить её как часть более общей и проводить оценку внешних свойств исследуемой системы относительно целей и задач суперсистемы.

3. *Принцип эквифинальности.* Система может достигнуть требуемого конечного состояния, не зависящего от времени и определяемого исключительно собственными характеристиками системы при различных начальных условиях и различными путями. Это форма устойчивости по отношению к начальным и граничным условиям.

4. *Принцип единства.* В соответствии с этим принципом систему следует рассматривать как целое, состоящее из отдельных, связанных между собой определёнными отношениями, частей (элементов).

5. *Принцип связности.* Рассмотрение любой части совместно с её окружением подразумевает проведение процедуры выявления связей между элементами рассматриваемой системы и выявление связей с внешней средой (учёт внешней среды). В соответствии с этим принципом систему следует рассматривать как часть (подсистему) другой системы, называемой суперсистемой или старшей системой.

6. *Принцип модульного построения.* В соответствии с этим принципом осуществляется выделение модулей в исследуемой системе и рассмотрение её в целом как совокупности модулей. Модулем здесь называется группа элементов системы, описываемая только своим входом и выходом. Разбиение системы на взаимодействующие модули (подсистемы) зависит от цели исследования и может иметь различную основу, в том числе материальную (вещественную), функциональную, алгоритмическую, информационную и другие. Разбитие системы на модули способствует более эффективной организации анализа и синтеза систем, так как оказывается возможным, абстрагируясь от второстепенных деталей, уяснить суть основных соотношений, существующих в системе и определяющих исходы системы. Вместо термина модуль зачастую используются термины «блок», «подсистема» и тому подобные.

7. *Принцип иерархии.* В соответствии с этим принципом осуществляется введение иерархии частей рассматриваемой системы и их ранжирование, что упрощает разработку системы и устанавливает порядок рассмотрения частей. Иерархия свойственна всем сложным системам. Иерархия в структурах организационных систем неоднозначно

связана с характером управления в системе, степенью децентрализации управления. В линейных (древовидных) иерархических организационных структурах реализуется идея полной централизации управления. В то же время в сложных нелинейных иерархически построенных системах может быть реализована любая степень децентрализации.

8. *Принцип функциональности.* В соответствии с этим принципом структура и функции в исследуемой системе рассматриваются совместно и с приоритетом функции над структурой. Данный принцип утверждает, что любая структура тесно связана с функцией системы и её составных частей. В случае придания системе новых функций, как правило, пересматривается и её структура. Поскольку выполняемые функции составляют процессы, то целесообразно рассматривать отдельно процессы, функции, структуры. В свою очередь, процессы сводятся к анализу основных потоков в системе:

- материальные потоки;
- потоки энергии;
- потоки информации;
- смена состояний.

С этой точки зрения структура представляет собой множество ограничений на потоки в пространстве и во времени. В организационных системах структура создаётся после определения набора функций и реализуется в виде совокупности персонала, методов, алгоритмов, технических устройств различного назначения. При появлении новых задач и соответственно функций может оказаться необходимой корректировка структуры. После создания системы возможно уточнение структуры системы и отдельных функций в рамках существующих целей и задач, то есть возможно обратное влияние структуры на функции. Зачастую организация, её структура создаются до выяснения целей и задач системы. В результате имеют место параллелизм в работе органов управления, систематические попытки улучшить работу организации путём изменения её структуры.

9. *Принцип развития.* Этот принцип подразумевает учёт изменяемости системы, её способности к развитию, адаптации, расширению, замене частей, накоплению информации. В основу синтезируемой системы требуется закладывать возможность развития, наращивания, усовершенствования. Обычно расширение функций предусматривается за счёт обеспечения возможности включения новых модулей, совместимых с уже имеющимися. С другой стороны, при анализе принцип развития ориентирует на необходимость учёта предыстории развития системы и тенденций, имеющих в настоящее время, для раскрытия закономерностей её функционирования. Одним из способов учёта этого принципа разработчиками является рассмотрение системы относительно её *жизненного цикла*. Условными фазами жизненного цикла системы являются проектирование, изготовление, ввод в эксплуатацию, эксплуатация, наращивание возможностей (модернизация), вывод из эксплуатации (замена), прекращение функционирования или применения.

10. *Принцип централизации и децентрализации.* Этот принцип подразумевает сочетание в сложных системах централизованного и децентрализованного управления, которое, как правило, заключается в том, что степень централизации должна быть минимальной, обеспечивающей выполнение поставленной цели. Основным недостаток децентрализованного управления — увеличение времени адаптации системы. Он существенно влияет на функционирование системы в быстро меняющихся средах. То, что в централизованных системах можно сделать за короткое время, в децентрализованной системе будет осуществляться весьма медленно. Основным недостаток децентрализованного управления — сложность управления, связанная со значительными объёмами потоков информации, подлежащей переработке в старшей системе управления. Поэтому в сложной системе обычно присутствуют два уровня управления. В медленно меняющейся обстановке децентрализованная часть системы успешно справляется с адаптацией поведения системы к среде и с достижением глобальной цели системы за счёт

оперативного управления, а при резких изменениях среды осуществляется централизованное управление по переводу системы в новое состояние.

11. *Принцип неопределённости.* Этот принцип подразумевает учёт неопределённостей и случайностей в системе и является одним из основных принципов системного подхода. В соответствии с этим принципом считается, что можно иметь дело с системой, в которой структура, функционирование или внешние воздействия не полностью определены. Сложные открытые системы не подчиняются вероятностным законам. При анализе таких систем [в лучшем случае] могут быть получены вероятностные оценки прогнозируемых ситуаций, если эти оценки объективно существуют, и в этом случае рассмотрение проводится для них. Учёт неопределённостей возможен также с помощью метода гарантийного результата, с помощью статистических оценок (если условия для этого существуют), уточнения структур и расширения совокупности целей и ряда других. Подобные методы применяются, когда неопределённости и случайности не описываются аппаратом теории вероятностей. При наличии информации о вероятностных характеристиках случайностей (математическое ожидание, дисперсия и тому подобные) можно определять вероятностные характеристики выходов в системе. Во всех случаях неполноты знаний о предмете исследования, нечёткой или стохастической входной информации результаты исследований будут носить нечёткий или вероятностный характер, а принятые на основании этих исследований решения могут приводить к неоднозначным последствиям. В случае нечёткой (по своей природе) или неполной (при ограниченных возможностях исследователя) информации необходимо стремиться выявить и оценить все возможные, в том числе кажущиеся маловероятными последствия принимаемых решений, а также предусмотреть обратные связи, которые обеспечат своевременное раскрытие и локализацию нежелательного развития событий.

Все указанные принципы обладают очень высокой степенью общности. Для непосредственного применения исследователь наполняет их конкретным содержанием применительно к предмету исследования. В моделях систем они должны быть конкретизированы в зависимости от существа системы и решаемой задачи.