

Модуль 1. Общие сведения о системном анализе

ЛК№2. Этапы развития теории систем.

Элементы систем и виды связей в системах.

Введение. Итоги недели №1

На прошлой неделе мы познакомились с основными понятиями и определениями в области системного анализа, научились самостоятельно формировать описание систем, выявлять их основные свойства, а также применять методологию системного анализа для анализа реальных исторических объектов, .

Современный мир характеризуется небывалой сложностью и взаимосвязанностью явлений. Проблемы, с которыми сталкиваются управленцы, инженеры, экологи и социологи, невозможно решить, рассматривая их составные части по отдельности. Требуется подход, позволяющий увидеть целостную картину, выявить скрытые закономерности и предвидеть последствия принимаемых решений. Таким универсальным подходом является системный анализ, методологической основой которого служит теория систем.

На прошлой лекции мы кратко разобрали исторические предпосылки возникновения системного анализа, как формализованной методологии, сегодня же постараемся разобраться в самой теории систем, рассмотрим основные этапы ее развития, разберёмся из каких ключевых элементов состоит любая система, а также проанализируем то, что скрепляет эти элементы в единое целое – многообразные виды связей.

Этапы развития теории систем

Теория систем — это не внезапное открытие, а закономерный результат эволюции научной мысли, ответ на растущую потребность в изучении сложности. Ее развитие можно разделить на четыре основных этапа.

1. Период интуитивного системного мышления (Античность — XIX век)

На этом этапе целостное восприятие мира существовало в рамках философии и естествознания, еще не оформившись в самостоятельную дисциплину.

- Аристотель (384–322 до н.э.) с его знаменитым тезисом «Целое больше суммы его частей» дал первую и, пожалуй, самую точную формулировку ключевого системного свойства — эмерджентности. Это означает, что система обладает свойствами, которых нет у ее отдельных элементов, и которые возникают именно благодаря их взаимодействию. Молекула воды H_2O обладает свойствами (текучесть, способность растворять), которых нет у атомов водорода и кислорода по отдельности.
- Леонардо да Винчи (1452–1519) и Рене Декарт (1596–1650) в своих трудах и подходах к исследованию подчеркивали важность изучения взаимосвязей в природе и целостного восприятия сложных объектов.
- Классики немецкой философии (Гегель) и Карл Маркс разработали диалектический метод, который рассматривает явления в их непрерывном развитии, изменении и всеобщей взаимосвязи. Это была философская предпосылка системного подхода.

Несмотря на глубокие идеи, этот период оставался этапом предыстории теории систем, так как не было ни строгого научного аппарата, ни самого понятия «система» в современном его понимании.

2. Становление и формализация (1920-е — 1950-е годы)

XX век с его техническим прогрессом и усложнением организационных структур потребовал новых подходов. Именно в этот период теория систем рождается как самостоятельное научное направление.

- Владимир Иванович Вернадский (1863–1945) разработал учение о биосфере и ноосфере, представив планетарную среду как единую, целостную и динамическую систему, где живое и неживое вещество тесно взаимосвязаны.
- Александр Александрович Богданов (1873–1928) в своем фундаментальном труде «Тектология. Всеобщая организационная наука» (1913–1922) совершил настоящий прорыв. Он впервые предложил создать науку об общих законах организации, универсальных для любых объектов — технических, биологических, социальных. Богданов опередил свое время; многие его идеи (о регулировании, обратных связях, структурной устойчивости) были позднее переоткрыты на Западе.
- Людвиг фон Берталанфи (1901–1972) считается отцом-основателем современной Общей Теории Систем (ОТС). В 1930–40-х годах он выступил с критикой механистического подхода в биологии, который рассматривал организм как простую сумму органов. Берталанфи предложил модель организма как открытой системы, находящейся в постоянном обмене энергией, веществом и информацией с окружающей средой и стремящейся к динамическому равновесию. Его программа была направлена на поиск изоморфных (сходных) законов, действующих в системах любой природы.

3. Развитие и применение (1950-е — 1970-е годы)

Этот этап характеризуется бурным развитием смежных дисциплин и превращением теории систем в мощный прикладной инструмент.

- Норберт Винер (1894–1964) создал кибернетику — науку об управлении, связи и переработке информации в системах. Если Берталанфи делал акцент на целостности и иерархии, то Винер сконцентрировался на процессах управления и обратной связи как универсальном механизме поддержания цели системы. Понятия «черный ящик», «контур управления», «положительная и отрицательная обратная связь» стали классическими.
- Становление системного анализа и исследования операций. Возникла острая практическая потребность в решении сложных военных, логистических и экономических задач. Системный анализ оформился как прикладная дисциплина, использующая методы теории систем и кибернетики для выбора оптимальных решений в условиях неопределенности.
- Развитие вычислительной техники предоставило необходимый инструмент для математического моделирования и имитации поведения сложных систем, что было невозможно вручную.

4. Современный период (1980-е годы — по настоящее время)

Современная теория систем фокусируется на изучении нелинейности, самоорганизации и сложного адаптивного поведения.

- Изучение сложных адаптивных систем (Complex Adaptive Systems — CAS). К таким системам относятся глобальная экономика, социальные сети, экосистемы, иммунная система, Интернет. Их ключевые особенности: способность к обучению, адаптации, самоорганизации и emergence — спонтанному возникновению новых паттернов поведения.
- Синергетика (основатель — Герман Хакен) изучает процессы кооперативного поведения элементов в открытых нелинейных системах, в результате которых происходит самопроизвольное образование новых упорядоченных структур из хаоса.

- Системная динамика (Джей Форрестер) предлагает аппарат для моделирования нелинейного поведения сложных систем во времени с помощью причинно-следственных петель и потоковых диаграмм. Широко используется в управлении проектами и стратегическом планировании.

Сегодня системное мышление и подходы проникли во все сферы человеческой деятельности: от менеджмента (бизнес-процессы) и IT (системная архитектура, DevOps) до экологии и изучения глобальных климатических изменений.

Элементы системы

Прежде чем анализировать связи, необходимо понять, что именно связывается. Дадим классическое определение:

Система — это целостный комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, обособленный от среды, имеющий определенную структуру и направленный на достижение цели.

Любую систему, от простейшей механической до самой сложной социальной, можно описать через набор ее ключевых элементов.

Элементы (Компоненты, Подсистемы) — это неделимые на данном уровне рассмотрения части системы. Что является элементом, зависит от цели исследования. Для анализа работы завода элементом может быть цех; для анализа работы цеха — станок; для анализа станка — двигатель.

- *Примеры:*

- В автомобиле: двигатель, колеса, коробка передач, кузов.
- В университете: факультеты, кафедры, студенты, преподаватели.
- В компьютерной программе: модули, функции, классы.

Элементы обладают определенными свойствами, которые влияют на поведение системы, но именно их совокупность и взаимодействие рождает системные свойства.

Структура — это совокупность устойчивых связей между элементами системы. Это каркас, скелет системы, который определяет ее организацию, упорядоченность и внутреннюю форму. Именно структура во многом определяет, какие свойства проявит система. Один и тот же набор элементов, по-разному организованный, даст разные системы (например, одинаковый набор деталей Lego можно собрать в домик или в машинку).

- *Пример:* Организационная структура предприятия (линейная, матричная, проектная), архитектура программного обеспечения, схема электрических цепей.

Функции (Поведение) — это внешнее проявление свойств системы в процессе ее взаимодействия со средой. Иными словами, это то, *что система делает*. Поведение системы — это последовательность ее состояний в течение времени, ее реакция на внешние воздействия.

- *Пример:* Функция системы «холодильник» — охлаждение продуктов. Функция системы «отдел маркетинга» — повышение узнаваемости бренда и генерация лидов.

Цель — это желаемое состояние системы или конечный результат, к достижению которого направлена ее деятельность. Цель является системообразующим фактором. Именно ради достижения цели элементы объединяются в систему, и именно цель определяет, какие функции будут выполняться.

- *Пример:* Цель коммерческой компании — максимизация прибыли. Цель системы пожаротушения в здании — ликвидация очага возгорания.

Важно отметить, что сложные системы часто являются многоцелевыми, а иногда цели подсистем могут конфликтовать друг с другом.

Входы и Выходы. Система не существует в вакууме, она взаимодействует с окружающей средой.

- Входы — это потоки вещества, энергии, информации, которые система поглощает из внешней среды для своего функционирования.
- Выходы — это потоки вещества, энергии, информации, которые система выдает в окружающую среду в результате своей деятельности.

Этот процесс «вход-преобразование-выход» является базовой моделью для описания работы любой системы.

- *Пример для системы «Кафе»:*
 - *Входы:* продукты, электроэнергия, вода, заказы от клиентов, инвестиции.
 - *Выходы:* готовая еда и напитки, услуги, удовлетворенные клиенты, отходы, финансовые отчеты, налоги.

Обратная связь — это фундаментальное понятие, механизм, при котором выходы системы (или информация о них) возвращаются на вход и влияют на последующие процессы ее функционирования. Это основной инструмент управления и адаптации.

- Отрицательная обратная связь действует стабилизирующе, противодействуя отклонениям от заданной цели. Она является основой гомеостаза (поддержания равновесия).
 - *Пример:* Термостат в кондиционере. Если температура становится выше заданной (выходной параметр), эта информация поступает на вход системы, и кондиционер включается, чтобы охладить воздух.
- Положительная обратная связь, напротив, усиливает отклонение, выводя систему из исходного состояния. Она может вести как к росту и развитию, так и к разрушению.
 - *Пример:* Процесс аварии на атомной станции (лавинοобразное нарастание мощности), «сарафанное радио» о новом продукте (лавинοобразный рост популярности).

Все эти элементы существуют не изолированно, а в тесной взаимосвязи. Игнорирование любого из них ведет к неполному или искаженному пониманию системы.

Функционирование и развитие системы

Состояние — мгновенная «фотография», «срез» системы; фиксация значений параметров системы на определённый момент времени.

Поведение — известные или неизвестные закономерности перехода системы из одного состояния в другое, определяемые как взаимодействием с внешней средой, так и целями самой системы.

Развитие, эволюция — закономерное изменение системы во времени, при котором может меняться не только её состояние, но и физическая природа, структура, поведение и даже цель.

Жизненный цикл — стадии процесса развития системы, начиная с момента возникновения необходимости в такой системе и заканчивая её исчезновением.

Виды связей в системах

Связи — это то, что превращает совокупность элементов в целостную систему. Связь можно определить как ограничение степени свободы элементов.

Без связей система распадается на множество независимых объектов. Многообразие связей можно классифицировать по нескольким основаниям.

По направленности

- Направленные (однонаправленные): Влияние передается от одного элемента (источника) к другому (приемнику) без существенного обратного воздействия.
 - *Пример:* Приказ генерального директора, спущенный вниз по иерархии; передача вращательного момента от двигателя к колесу.
- Ненаправленные: Элементы взаимно влияют друг на друга.
 - *Пример:* Связи между коллегами в рабочей группе; химическое взаимодействие реагентов.
- Обратные связи: являются частным, но крайне важным случаем направленных связей, где выход системы воздействует на ее вход.

По силе и характеру

- Жесткие (детерминированные): однозначно и с высокой степенью обязательности определяют поведение связанных элементов. Такие связи характерны для технических и формализованных систем.
 - *Пример:* Алгоритм работы процессора; программа станка с ЧПУ; юридический договор.
- Гибкие (вероятностные, стохастические): определяют поведение элементов не однозначно, а с некоторой вероятностью. Характерны для социальных, экономических и биологических систем.
 - *Пример:* Влияние уровня сервиса на лояльность клиентов; связь между квалификацией сотрудника и качеством его работы.

По типу передаваемого ресурса

- Вещественные (материальные): Связь, в процессе которой передаются физические объекты.
 - *Пример:* Конвейерная лента на заводе; поставка комплектующих от поставщика.
- Энергетические: Связь, осуществляемая через передачу энергии.
 - *Пример:* Электрическая сеть; приводной ремень.
- Информационные: наиболее важный тип связей для сложных организационных и социальных систем. В процессе передаются данные, команды, знания, смыслы.
 - *Пример:* Докладная записка, электронное письмо, устное распоряжение, публикация в СМИ.

По месту в структуре

- Прямые: Непосредственное влияние элемента А на элемент Б.
 - *Пример:* Непосредственное общение двух сотрудников.
- Косвенные: Влияние элемента А на элемент Б осуществляется через один или несколько промежуточных элементов ($A \rightarrow C \rightarrow B$).
 - *Пример:* Влияние отдела разработки на клиента через отдел продаж и продукт.

По уровню организации

- Связи подчинения (вертикальные): Связи, отражающие иерархию в системе. Элемент более высокого уровня управляет элементом более низкого уровня.
 - *Пример:* Связь «руководитель — подчиненный»; связь между основной программой и подпрограммой.
- Связи координации (горизонтальные): Связи между элементами одного уровня, предназначенные для согласования их действий и обмена ресурсами.

- *Пример:* Взаимодействие между отделами маркетинга и производства; связь между нейронами в одной области мозга.

Для наглядного представления связей используются различные инструменты: иерархические (древовидные) схемы, сетевые графы, матрицы смежности. Выбор инструмента зависит от сложности системы и целей анализа.

Заключение

Подводя итоги, хотелось бы сказать, что теория систем прошла эволюцию от интуитивных идей Аристотеля и целостных подходов Вернадского до строгой науки (Берталанфи) и мощного прикладного инструментария (кибернетика Винера, системный анализ, синергетика). Системный анализ в нашем настоящем учит нас, что для решения сложной проблемы недостаточно понять, из чего она состоит. Необходимо ответить на вопросы: как эти части связаны между собой? Какова общая цель? Как система взаимодействует со средой? И как информация о результатах ее работы влияет на ее дальнейшее поведение?

Ответы на эти вопросы открывают путь к эффективному и продуманному управлению сложностью в любой предметной области, что мы и попытаемся сделать на практических и лабораторных занятиях.