

Модуль 1. Общие сведения о системном анализе

ЛК№1. Введение в системный анализ.

Основные понятия, классификация, характеристики и свойства систем.

Преподаватель: Абрашкина Ирина Андреевна, главный эксперт ОО ИШНКБ, преподаватель ОЭИ и ОКД ИШНКБ.

Всего часов: аудиторных – 56, СРС – 88.

- Лекции: 16 часов (8 недель × 2 часа)
- Практические занятия: 16 часов (8 недель × 2 часа)
- Лабораторные работы: 24 часа (6 работ × 4 часа)
- Форма контроля: зачет на основе защиты мини-проекта.

В рамках данной дисциплины планируется освоение четырёх крупных модулей в течение 7–8 недель. Каждый модуль посвящён определённому разделу системного анализа и предусматривает плавный переход от теоретических основ к практическим навыкам через выполнение различных заданий в рамках практических занятий и лабораторных работ.

Введение в системный анализ.

Что такое система? Фундаментальные понятия

Прежде чем говорить о системном анализе, необходимо определить ключевое понятие — "система".

Система (от греч. σύστημα — целое, составленное из частей) — это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, объединённых общей целью функционирования и единством управления, и выступающая как целостное образование относительно окружающей среды.

Любая система характеризуется следующими основными признаками:

Целостность и делимость: Система является целостным образованием, но ее можно мысленно или физически разделить на составные части (элементы, подсистемы). При этом свойства системы не являются простой суммой свойств ее элементов. Это называется эмерджентностью (от англ. emergence — возникновение) — наличие у системы качеств, не присущих ни одному из ее элементов в отдельности. Например, автомобиль состоит из тысяч деталей, но его свойство "быть средством передвижения" возникает только при их правильном соединении и взаимодействии. Ни двигатель, ни колесо по отдельности этим свойством не обладают.

Структурность: Система — это не просто набор элементов, а упорядоченная совокупность. Структура системы — это совокупность устойчивых связей и отношений между ее элементами. Именно структура определяет внутреннюю организацию системы и ее основные свойства. Измените структуру — изменится и система.

Взаимосвязь с внешней средой: ни одна система не существует в вакууме. Она взаимодействует с окружающей средой, обмениваясь с ней веществом, энергией и информацией. Система, которая активно обменивается со средой, называется открытой. Система с отсутствующим или сильно ограниченным обменом — закрытой (в чистом виде в природе почти не встречается).

Иерархичность: Любую систему можно рассматривать как элемент (подсистему) более крупной системы (надсистемы). Например, двигатель — подсистема автомобиля, автомобиль — подсистема транспортной системы города, город — подсистема государства и т.д. Это свойство позволяет применять системный подход на любом уровне сложности.

Функциональность и целенаправленность: Система создается и существует для достижения определенной цели (или множества целей). Ее функционирование направлено на решение конкретных задач.

Примеры систем: университет, предприятие, живой организм, компьютерная программа, экосистема озера, правовая система государства.

Что такое системный анализ?

Системный анализ — это научная методология, представляющая собой совокупность концепций, принципов, методов и моделей для изучения, проектирования и управления сложными системами.

Проще говоря, системный анализ — это технология решения сложных проблем.

Ключевое слово здесь — "сложных". Если проблема проста и ее решение очевидно, системный анализ не нужен. Он применяется тогда, когда:

- проблема имеет много аспектов (технических, экономических, социальных, экологических).
- взаимосвязи между элементами проблемы неочевидны.
- существует множество заинтересованных сторон (стейкхолдеров) с разными, часто противоречивыми, целями.
- имеется неопределенность или недостаток информации.

Системный анализ — это не одна конкретная дисциплина, а синтез знаний из различных областей: кибернетики, теории управления, теории вероятностей, математической статистики, исследования операций, информатики, экономики, социологии и психологии.

Системный анализ — это не просто набор методов, а особый способ мышления. Это дисциплинированный подход к пониманию и изменению сложного мира.

Исторические предпосылки возникновения

Истоки системного мышления уходят в глубь веков (философские труды Аристотеля, который утверждал, что "целое больше суммы его частей"), однако как формализованная методология системный анализ сформировался в середине XX века. Этому способствовали:

- вторая мировая война: возникла острая необходимость решения сложных военно-стратегических и логистических задач. разрабатывались методы исследования операций для оптимизации использования ограниченных ресурсов.
- научно-техническая революция: резкое усложнение технических систем (аэрокосмическая отрасль, энергетика, связь). стало ясно, что создавать такие системы без целостного, системного подхода невозможно.
- развитие кибернетики: Норберт Винер сформулировал принципы управления и связи в живых организмах и машинах, что заложило основу для понимания процессов управления в любых сложных системах.
- работы в RAND CORPORATION¹: именно в этой американской "фабрике мысли" в 1940-50-е годы термин "systems analysis" стал широко

¹ **RAND Corporation** («Research And Development» — «Исследования и разработки») — это американский стратегический исследовательский центр (т.н. «фабрика мысли», «think tank»), созданный в 1948 году по инициативе ВВС США для продолжения работ, начатых в проекте RAND при корпорации Douglas Aircraft. Именно в стенах RAND в 1940-50-е годы термин **«systems analysis»** (системный анализ) был впервые формализован, систематизирован и применен как методология для решения сложных проблем национального масштаба.

использоваться для анализа решений в области национальной безопасности и стратегии.

Таким образом, системный анализ стал ответом на вызовы времени, требующие междисциплинарного подхода к управлению сложностью.

Основные принципы системного анализа

В основе методологии лежит ряд фундаментальных принципов, которые более подробно мы разберем в одной из последующих лекций, обозначим основные.

Принцип целостности: требует рассматривать систему как единое целое, а не как набор частей. Анализ должен быть направлен на выявление интегральных свойств системы.

Принцип иерархичности: позволяет структурировать проблему, разбивая ее на более мелкие и управляемые подпроблемы (декомпозиция).

Принцип интеграции: предполагает необходимость учета всех существенных связей и взаимодействий как между элементами системы, так и между системой и средой.

Принцип целевой ориентации ("Принцип цели"): требует начинать любой анализ с четкого определения и формулировки целей системы. "Если вы не знаете, куда идете, то можете прийти в другое место" (М.Твен).

Принцип неопределенности и многовариантности: признаёт, что в сложных системах почти никогда не существует единственного "правильного" решения. Необходимо выявлять и сравнивать несколько альтернативных путей достижения цели.

Принцип согласования ресурсов и целей: Реализуемость целей проверяется наличием необходимых ресурсов (временных, финансовых, материальных, человеческих).

Основные этапы системного анализа (обобщенная схема)

Как и в любой сфере, в области системного анализа существует множество методологий, которые в свою очередь могут отличаться количеством этапов и их определений, однако общая логика системного анализа остается неизменной и обычно включает следующие этапы.

Постановка проблемы: Выявление и содержательное описание проблемной ситуации. Ответ на вопрос: "Что не так и почему это нас не устраивает?"

Определение целей и критериев: Формулировка того, чего мы хотим достичь. Каким образом мы будем измерять успех? Критерии должны быть конкретными, измеримыми и достижимыми.

Анализ структуры системы и ее окружения:

- выявление элементов системы и установление связей между ними.
- определение границ системы и ее взаимодействия с внешней средой.
- идентификация стейкхолдеров (лиц, групп или организаций, заинтересованных в успехе или неуспехе системы).

Построение моделей (моделирование): Создание упрощенного представления системы, отражающего ее наиболее важные для данной проблемы свойства. Модели могут быть математическими, имитационными, концептуальными, словесными и т.д.

Генерирование альтернатив: Поиск и разработка различных вариантов решения проблемы или достижения цели.

Сравнительный анализ и оценка альтернатив: Анализ "за" и "против" каждого варианта. Оценка альтернатив по ранее установленным критериям с учетом ограничений и рисков.

Выбор наилучшего решения: Принятие решения о выборе одной или нескольких альтернатив для реализации. Часто это решение является компромиссным.

Реализация и контроль выполнения решения: Воплощение выбранного решения в жизнь и мониторинг его эффективности. При необходимости — корректировка.

Важно понимать, что это не строго линейный, а часто итерационный процесс. Результаты каждого этапа могут заставить вернуться и пересмотреть предыдущие.

Области применения системного анализа

Системный анализ сегодня применяется практически во всех сферах человеческой деятельности:

Управление бизнесом: разработка бизнес-стратегий, реинжиниринг бизнес-процессов, проектирование организационных структур, управление проектами.

Информационные технологии: проектирование архитектуры корпоративных информационных систем, разработка сложного программного обеспечения, анализ требований к ПО.

Государственное и муниципальное управление: разработка социальных и экономических программ, анализ эффективности госрасходов, городское планирование.

Техника и инженерия: проектирование сложных технических комплексов (самолетов, космических аппаратов, энергосистем).

Экология и природопользование: моделирование экосистем, оценка воздействия на окружающую среду, разработка стратегий устойчивого развития.

наука: планирование крупных научных экспериментов.

Классификация систем

Для эффективного анализа системы необходимо уметь их классифицировать. Классификация помогает выбрать адекватные методы исследования и управления. Как и в области рассмотрения основных этапов системного анализа существует огромное количество классификаций систем, попробуем рассмотреть один из вариантов.

по происхождению

- естественные (природные): возникли без участия человека (солнечная система, экосистема леса, организм человека).
- искусственные (созданные человеком): спроектированы и созданы для достижения специальных целей (предприятие, компьютер, правовая система).
- виртуальные: существуют в информационном пространстве (социальные сети, онлайн-сообщества, метавселенные).
- смешанные (эргатические): включают как человеческие, так и технические компоненты (система "человек-компьютер", экипаж самолета).

по степени сложности

- простые: имеют небольшое количество элементов и простые связи. их поведение предсказуемо (рычаг, механические часы).

- сложные: характеризуются большим количеством элементов и разнообразием связей между ними. поведение таких систем трудно предсказать без специального анализа (предприятие, организм, город).
- сверхсложные (ультрасложные): обладают способностью к самоорганизации, обучению и адаптации. их поведение принципиально непредсказуемо в деталях (человеческий мозг, глобальная экономика, общество в целом).

по характеру взаимодействия с окружающей средой

- открытые: активно обмениваются с окружающей средой веществом, энергией и информацией. это наиболее распространенный тип систем (биологические организмы, социальные системы).
- закрытые: имеют жесткие границы, обмен со средой минимален. являются абстракцией, так как в чистом виде в природе почти не встречаются (закрытый термос, идеализированная физическая система).
- изолированные: теоретическая модель, в которой полностью отсутствует какой-либо обмен со средой (вселенная в некоторых космологических моделях).

по типу поведения и детерминированности

- детерминированные: поведение системы полностью предопределено, и при одних и тех же входных воздействиях она выдает один и тот же результат. работают по жесткому алгоритму (станок с чпу, компьютерная программа без элемента случайности).
- стохастические (вероятностные): их поведение можно предсказать только с определенной степенью вероятности, так как в них присутствуют случайные факторы (система массового обслуживания, фондовый рынок, поток клиентов в магазине).

по способу управления

- управляемые извне: имеют выделенный орган управления, который получает информацию извне (предприятие, управляемое директором).
- самоуправляемые (саморегулирующиеся): способны самостоятельно поддерживать свое функционирование в заданных параметрах за счет обратных связей (гомеостаз в живых организмах, автопилот).
- самоорганизующиеся: способны кардинально менять свою структуру и функции для приспособления к изменяющимся условиям среды (антикризисная команда, научное сообщество, иммунная система).

по структуре

- централизованные: имеют ярко выраженный центр управления, который принимает все ключевые решения (армия, иерархическая организация).
- децентрализованные: функции управления распределены между элементами, которые обладают значительной автономией (интернет, рыночная экономика, роевая структура).
- распределенные (сетевые): отсутствует единый центр управления, элементы взаимодействуют напрямую друг с другом (блокчейн, социальные сети, нейронные сети).

Также в литературе можно встретить разделение систем по целям и функциям, по способу изменения, по природе элементов, входящих в систему и мн.др.

Характеристики и свойства систем

Важно различать характеристики (статические описательные параметры) и свойства (динамические проявления системы в процессе функционирования).

Основные характеристики систем:

- размер (количество элементов): определяет масштаб системы.
- сложность структуры: определяется количеством и разнообразием связей между элементами.
- связность: уровень взаимозависимости элементов системы.
- уровень организации (организованность): степень упорядоченности системы, противоположность энтропии (хаосу).
- функциональное разнообразие: количество и разнообразие функций, которые может выполнять система.
- надежность и живучесть: способность системы сохранять работоспособность при выходе из строя части элементов или при внешних воздействиях.
- управляемость: степень, в которой система поддается целенаправленному изменению ее поведения.
- наблюдаемость: возможность определять состояние системы по ее выходным сигналам.

Свойства систем (системные эффекты)

Эмерджентность (системный эффект) – наличие у системы качеств, не присущих ни одному из ее элементов в отдельности. Это ключевое, фундаментальное свойство. Примеры: Вода (H_2O) обладает свойствами жидкости, тогда как ее элементы (водород и кислород) при комнатной температуре — газы. Компьютер может выполнять сложные вычисления, тогда как отдельный транзистор или резистор этой способностью не обладают. Коллектив сотрудников способен решить задачу, непосильную для любого из них в одиночку.

Синергичность (синергетический эффект) – однонаправленность действий элементов системы приводит к многократному увеличению конечного результата (эффект " $2+2=5$ "). Пример: Слаженная работа команды (синергия) приводит к результату, превышающему сумму индивидуальных усилий ее членов. В бизнесе — слияние компаний для получения эффекта масштаба.

Целостность – система реагирует на внешние воздействия как единое целое. Изменение одного элемента неминуемо вызывает изменения в других элементах и в системе в целом. Пример: Повышение цены на один ресурс (энергоносители) в экономической системе приводит к росту цен на многие другие товары и услуги.

Иерархичность – возможность рассмотрения системы как элемента более крупной системы (надсистемы) и, в свою очередь, разделения ее на подсистемы. Пример: Клетка → Орган → Организм → Социальная группа → Общество.

Адаптивность – способность системы изменять свою структуру и поведение для сохранения функционирования в изменяющихся условиях внешней среды. Пример: Компания меняет бизнес-модель в ответ на появление новых технологий. Иммунная система вырабатывает антитела к новому вирусу.

Интегративность – система стремится к объединению элементов в единое целое, к сохранению своей целостности и противодействию разрушающим факторам. Пример: Организм борется с болезнью. Здоровая организационная культура противодействует токсичным влияниям извне.

Эквивифинальность – способность сложной системы достигать одного и того же конечного состояния независимо от начальных условий и различными путями. Пример: Успешная компания может быть создана "с нуля" разными людьми, в разных странах и в разное время, но прийти к схожим результатам. Разные группы студентов, начав подготовку к экзамену с разным уровнем знаний, могут в итоге показать одинаково высокие результаты.

Мультипликативность – и положительные, и отрицательные эффекты в системе обладают свойством умножения, а не сложения. Пример: Небольшая ошибка в проекте (отрицательный эффект) на ранней стадии может привести к колоссальным убыткам на стадии эксплуатации. Небольшая, но вовремя реализованная инновация (положительный эффект) может привести к прорыву и завоеванию рынка.

Заключение

Подводя итог всему вышесказанному, еще раз стоит отметить, что владение основами системного анализа является критически важной компетенцией для современного специалиста в любой области, связанной с управлением, проектированием и принятием решений. В рамках практического занятия мы постараемся более подробно разобраться, что такое система, какими свойствами и характеристиками обладают реальные системы, а также для чего нужен системный анализ.

ⁱ Исторический контекст и предпосылки

После Второй мировой войны руководство США столкнулось с принципиально новыми вызовами:

Холодная война: Глобальное противостояние с СССР требовало сложных стратегических решений.

Ядерное оружие: появился инструмент беспрецедентной разрушительной силы, использование которого требовало совершенно новых подходов к стратегии и безопасности.

Технологическая сложность: Развитие авиации, ракетной техники и систем ПВО создавало невиданные ранее по сложности технические системы.

Традиционные методы военного планирования и интуиция генералов были недостаточны для принятия решений в таких условиях. Возникла потребность в **научном, количественном и междисциплинарном подходе**.

Ключевые особенности работ RAND, определившие суть системного анализа:

1. **Междисциплинарный подход.** В RAND собрали не только физиков и инженеров, но и экономистов, математиков, политологов, психологов и социологов. Это позволило рассматривать проблемы во всей их полноте, а не только с технической точки зрения. Например, вопрос размещения военных баз рассматривался одновременно с точки зрения логистики, экономической эффективности, геополитики и потенциального психологического воздействия на противника.
2. **Акцент на неопределенность и будущее.** Аналитики RAND одними из первых начали систематически работать со сценариями, вероятность которых невозможно точно оценить. Они разработали методы, позволяющие принимать решения в условиях **«глубокой неопределенности»**.
3. **Разработка и применение новых аналитических методов.** В рамках работ RAND были рождены или получили мощнейшее развитие ключевые методы, которые сегодня являются стандартными инструментами системного анализа и управления:
 - **Метод Дельфи:** Техника структурированной групповой коммуникации, разработанная для прогнозирования будущих событий путем анонимного опроса экспертов.
 - **Анализ «затраты-выгоды» (Cost-Benefit Analysis):** хотя сама идея не была новой, RAND довел ее до уровня строгой методологии для сравнения альтернативных проектов (например, разных моделей самолетов или систем вооружения).
 - **Линейное и динамическое программирование:** Математические методы оптимизации распределения ограниченных ресурсов.
 - **Теория игр:** использовалась для моделирования стратегического взаимодействия с противником (например, в ядерном противостоянии).
 - **Имитационное моделирование:** Создание сложных компьютерных моделей для анализа последствий тех или иных решений без дорогостоящих и опасных натурных испытаний.
 - **Смена парадигмы: от «что» к «как» и «почему».** Аналитики RAND поняли, что заказчик (например, Пентагон) часто просит проанализировать конкретную систему вооружений («что построить?»). Но настоящая системная задача — понять **фундаментальную цель** («почему нам это нужно?») и уже затем определить **наилучший способ** ее достижения («как это сделать?»).

Классический пример: Когда ВВС США поставили задачу проанализировать конструкцию нового стратегического бомбардировщика, специалисты RAND переформулировали проблему. Вместо «Какой бомбардировщик построить?» они задали вопрос: **«Каков самый эффективный способ доставки ядерного оружия на территорию противника?»**. Такой подход позволил рассмотреть не только самолеты, но и баллистические ракеты, что в итоге привело к смене приоритетов в стратегии и ускорило развитие американской ракетной программы.