

Модуль 2. Принципы и методы системного анализа

ЛК№4. Методы и алгоритмы системного анализа

Введение. Итоги недели №3

На предыдущих лекциях мы с вами заложили фундамент теории систем и системного анализа. Мы разобрались с такими ключевыми категориями, как «система», «элемент», «структура», «связь», «цель» и «функция». Мы усвоили, что системный анализ – это дисциплина, занимающаяся проблемами принятия решений в условиях сложности, многокритериальности и неопределенности, опираясь на целостный, системный взгляд на объект изучения.

Однако теория без инструментария бесплодна. Сегодня мы переходим к самому практическому и насыщенному разделу – изучению конкретных методов и алгоритмов системного анализа. Если ранее мы отвечали на вопросы «*Что такое система?*» и «*Зачем нужен системный подход?*», то сегодня мы сконцентрируемся на вопросе «*КАК его осуществить?*».

Методы системного анализа

Методы системного анализа – это арсенал средств, позволяющих провести декомпозицию сложной проблемы, выявить скрытые зависимости, формализовать качественные оценки, смоделировать поведение системы и, в конечном итоге, выработать обоснованное управленческое или проектное решение. Эти методы носят междисциплинарный характер, заимствуя лучшее из математики, кибернетики, экономики, социологии и теории управления.

Цель данной лекции – систематизировать основные группы методов, раскрыть их сущность, показать области применения и алгоритмы их использования. Мы рассмотрим как методы, направленные на понимание и структуризацию проблемы, так и методы, предназначенные для оценки, сравнения и выбора альтернатив.

Классификация методов системного анализа

Многообразие методов системного анализа можно классифицировать по различным основаниям: по цели применения, по степени формализации, по этапу системного исследования. Для нас наиболее продуктивной будет следующая классификация, группирующая методы по их основному функциональному назначению:

1. Методы структуризации и представления систем. Направлены на первичный анализ проблемы, выявление элементов, связей и иерархии.
 2. Методы анализа целей и функций. Фокусируются на определении и упорядочивании целей системы и ее подсистем.
 3. Методы моделирования и прогнозирования. Позволяют создавать формальные образы системы для изучения ее поведения в различных условиях.
 4. Методы оценки и принятия решений. Используются для сравнения альтернатив и выбора наилучшего варианта.
- Рассмотрим каждую группу подробно.

Эти методы используются на начальных этапах анализа, когда проблема еще плохо формализована и носит «размытый» характер. Их задача – перейти от неструктурированного описания к наглядным и понятным схемам и моделям.

Метод «5 почему»

Метод является классическим и важным инструментом в арсенале системного анализа, хотя и довольно простым и иногда в общей классификации его не принимают за метод, а считают инструментом других более серьезных методов. Это метод для поиска первопричины проблемы путем последовательного задавания вопроса «Почему?» к каждому предыдущему ответу. Он используется для того, чтобы понять коренные причины сбоев или ошибок, а не просто устранять их последствия, что позволяет предотвратить их повторение в будущем. Хотя число «пять» является ориентиром, количество вопросов может варьироваться до тех пор, пока не будет выявлена корневая причина.

Алгоритм применения:

1. Сформулируйте проблему: чётко опишите наблюдаемую проблему.
2. Задайте первый вопрос: спросите: «Почему?» возникла эта проблема. Зафиксируйте ответ.
3. Повторяйте вопрос: для каждого полученного ответа задайте следующий вопрос «Почему?». И так далее, пока не выявите основную, фундаментальную причину.
4. Определите корневую причину: Ответ на последний вопрос (обычно пятый) выявит первопричину, а не просто симптом.
5. Разработайте контрмеры: Примите меры, которые устранят корневую причину, а не только её проявления.

Пример. Проблема: Большое количество студентов первого курса провалили промежуточный экзамен по ключевому предмету «Введение в программирование». Почему? Большинство не смогло решить практические задачи на написание кода.

Почему? Они не были знакомы с форматом заданий и не имели достаточного опыта в отладке собственного кода.

Почему? Домашние задания в течение семестра были однотипными и простыми, а экзаменационные задачи были значительно сложнее и требовали комбинирования знаний.

Почему? Программа курса и методические материалы были разработаны несколько лет назад и не обновлялись в соответствии с современными требованиями и реальным уровнем входящих студентов.

Почему? В плане кафедры не заложено регулярное (ежегодное) время и ресурсы для пересмотра и актуализации материалов силами преподавателей. Нет формализованного процесса обратной связи по итогам экзаменов для модернизации курса.

Мы дошли до системной причины: не процесс, а его отсутствие. Проблема не в конкретном преподавателе или студентах, а в организации учебной работы кафедры.

Морфологический анализ (метод морфологического ящика)

Метод был разработан швейцарским астрофизиком Фрицем Цвикки и первоначально использовался в ракетостроении. Он заключается в систематическом рассмотрении всех возможных комбинаций вариантов реализации подсистем или функций исследуемого объекта. Это позволяет выявить

новые, неочевидные решения. Для применения метода строится матрица или "морфологический ящик", где строки представляют параметры, а столбцы — варианты решений для каждого из них, после чего путем перебора комбинаций находятся новые, зачастую неожиданные решения.

Алгоритм применения:

- сформулируйте проблему: четко определите задачу, которую нужно решить.
- выделите параметры: разложите проблему на ключевые, независимые элементы или характеристики. например, для задачи "создать новый велосипед" параметрами могут быть "рама", "колеса", "руль".
- определите варианты: для каждого параметра составьте список всех возможных вариантов его реализации. например, для параметра "рама" вариантами могут быть "алюминиевая", "стальная", "карбоновая", "складная".
- составьте морфологический ящик: создайте таблицу (матрицу), где строки — это параметры, а столбцы — их варианты.
- комбинируйте и анализируйте: систематически комбинируйте варианты из разных строк (например, "алюминиевая рама" + "18-дюймовые колеса" + "прямой руль"). это позволит получить множество новых идей и решений.
- выберите лучшее решение: оцените получившиеся комбинации и выберите те, которые наиболее подходят для достижения ваших целей.

Метод широко применяется в инженерии, дизайне, маркетинге, а также для решения любых творческих и организационных задач. Визуально метод похож на составление портрета из разных частей (глаза, нос, рот), где каждый элемент можно менять, получая новый образ. Комбинируя варианты, можно получить как традиционные решения, так и инновационные.

Метод «Дерево целей»

Хотя этот метод чаще относят к анализу целей, его первоначальная задача — именно структуризация. Дерево целей — это структурированный способ визуализации достижения цели путем ее декомпозиции на подцели и конкретные задачи, которые выстраиваются в иерархическую схему, напоминающую перевернутое дерево.

Основная, генеральная цель располагается на вершине ("стволе"), а от нее ответвляются все более мелкие задачи ("ветви" и "листья"). Этот метод используется для стратегического планирования, как в бизнесе, так и в личной жизни, чтобы сделать большие цели более понятными, управляемыми и достижимыми.

Алгоритм построения:

1. Формулировка генеральной цели. Она должна быть конкретной, достижимой и проверяемой.
2. Декомпозиция (разбиение) генеральной цели на основные составляющие подцели, которые в свою очередь могут делиться еще на более мелкие цели. Критерий: «Достижение всех подцелей данного уровня означает достижение цели предыдущего уровня».
3. Иерархия: все цели выстраиваются в строгой иерархической последовательности: главная цель — подцели 1-го уровня — подцели 2-го уровня и т.д.
4. Проверка полноты и непротиворечивости. Не должно быть «висячих» целей, не работающих на вышестоящую цель. Цели одного уровня не должны конфликтовать друг с другом.
5. Визуализация. Результат представляется в виде схемы, где каждая ветвь и лист соответствуют определенной задаче, а ствол — главной цели.

Пример: Генеральная цель – «Повышение качества образования в университете».

- Уровень 1: Подцели – «Модернизация учебных программ», «Повышение квалификации преподавателей», «Улучшение материально-технической базы».
- Уровень 2 (декомпозиция «Модернизация учебных программ»): «Внедрение интерактивных методов обучения», «Обновление библиотечного фонда», «Разработка онлайн-курсов».

Метод помогает увидеть весь процесс, определить вклад каждого участника, выявить зависимости между задачами и скорректировать планы при необходимости.

Метод диаграмм Исикавы (Cause-and-Effect Diagram, «рыбья кость»)

Разработан японским профессором Каору Исикавой. Используется для выявления и систематизации всех возможных причин, приводящих к конкретному последствию (проблеме). Называемый также «рыбьей костью» из-за своей структуры, он помогает визуализировать проблему (в «голову» рыбы) и ее потенциальные причины (в «костях»)

Алгоритм построения:

1. Четко формулируется проблема (следствие), которая записывается с правой стороны в «голове» рыбы.
2. Определяются основные группы (категории) причин, влияющих на проблему. Стандартные категории для производственных проблем: «Люди», «Методы», «Машины (оборудование)», «Материалы», «Измерения», «Среда». Они являются основными «костями».
3. Проводится «мозговой штурм» по выявлению всех возможных частных причин в рамках каждой категории. Они записываются как ответвления от основных «костей» (мелкие кости).
4. Выявляются и анализируются наиболее вероятные и значимые причины.

Методы анализа целей и функций

Эти методы являются развитием идей, заложенных в «дереве целей», и направлены на более глубокий анализ того, *зачем* существует система и *что* она должна делать.

Функционально-стоимостный анализ (ФСА)

Это метод технико-экономического исследования функций объекта, направленный на поиск путей снижения затрат на его создание и эксплуатацию без ущерба для качества выполняемых полезных функций.

Алгоритм проведения:

1. Подготовительный этап. Выбор объекта, постановка задач, создание рабочей группы.
2. Информационный этап. Сбор данных об объекте (конструкция, технология производства, эксплуатационные характеристики, затраты).
3. Аналитический этап.
 - Формулировка всех функций объекта (основных, вспомогательных, ненужных).
 - Классификация функций (полезные/вредные, основные/второстепенные).
 - Построение функциональной модели и определение стоимости реализации каждой функции.

- Выявление функций с неоправданно высокой стоимостью («зоны провала»).
- 4. Творческий этап. Поиск альтернативных, более дешевых способов выполнения необходимых функций.
- 5. Исследовательский этап. Экспертная оценка выдвинутых предложений.
- 6. Рекомендательный этап. Разработка и оформление предложений по модернизации объекта.

Построение деревьев решений

Этот метод служит мостом между анализом целей и принятием решений. Дерево решений – это граф, отображающий последовательность принятия решений и их возможные последствия в условиях неопределенности. Узлами дерева являются:

- узлы решений (квадраты) – моменты выбора из нескольких альтернатив.
- узлы событий (шансов) (круги) – моменты наступления случайных событий с известной или оцененной вероятностью.
- листья (терминальные узлы) – конечные результаты, к которым приводит та или иная цепочка решений и событий.

Алгоритм построения и анализа:

1. Идентификация проблемы и возможных решений.
2. Построение дерева от корня (первоначального решения) к листьям (конечным исходам).
3. Оценка вероятностей для узлов-событий и определение полезности (ценности) для каждого конечного исхода.
4. Обратный проход (свертка дерева). Расчет математического ожидания выигрыша для каждого узла, начиная с терминальных. В узлах-событиях вычисляется средневзвешенное по вероятностям значение. В узлах решений выбирается альтернатива с максимальным ожидаемым значением.

Методы моделирования и прогнозирования

Эта группа методов позволяет перейти от словесного описания системы к ее формальной модели, на которой можно проводить вычислительные эксперименты.

Имитационное моделирование

Это наиболее мощный и распространенный метод исследования сложных систем, когда аналитическое решение невозможно или чрезвычайно затруднено. Суть метода заключается в создании компьютерной модели, которая воспроизводит поведение системы во времени с учетом стохастических (случайных) факторов. Модель «проигрывается» многократно, а результаты статистически обрабатываются.

Алгоритм проведения:

1. Формулировка проблемы и целей моделирования.
2. Разработка концептуальной модели – выявление основных элементов, переменных, связей и логики их взаимодействия.
3. Построение формальной модели – создание алгоритма, написание программы на специализированном (AnyLogic, GPSS) или универсальном языке программирования.
4. Верификация и валидация модели. Верификация – проверка, правильно ли модель запрограммирована (не содержит ошибок кода). Валидация – проверка, адекватно ли модель отражает реальную систему.
5. Планирование и проведение экспериментов на модели.

6. Анализ выходных данных и формулировка выводов и рекомендаций.

Примеры: Моделирование работы банка (клиенты – транзакции – кассиры), логистической цепи (поставки – склады – транспорт), производственного цеха (станки – очереди – операторы).

Метод анализа иерархий (МАИ) Томаса Саати

Это математический аппарат для анализа и принятия решений в условиях многокритериальности. Метод основан на попарном сравнении альтернатив и критериев, что позволяет работать как с количественными, так и с качественными оценками.

Алгоритм применения:

1. Представление проблемы в виде иерархии: цель (верхний уровень), критерии и подкритерии (промежуточные уровни), альтернативы (нижний уровень).
2. Попарное сравнение элементов каждого уровня относительно элемента вышестоящего уровня. Для сравнения используется специальная шкала относительной важности (от 1 – «равенство», до 9 – «абсолютное превосходство»). Результаты заносятся в матрицу парных сравнений.
3. Вычисление векторов приоритетов для каждой матрицы. Это позволяет получить локальные веса (важности) элементов.
4. Проверка согласованности суждений. Рассчитывается индекс согласованности (ИС). Если ИС превышает 0.1, суждения считаются несогласованными и подлежат пересмотру.
5. Синтез глобальных приоритетов. Локальные веса альтернатив взвешиваются на веса соответствующих критериев и суммируются. Альтернатива с наибольшим глобальным приоритетом считается наилучшей.

Методы оценки и принятия решений

Эти методы используются на заключительных этапах системного анализа для объективного сравнения различных вариантов решений.

Метод взвешенных сумм (МВС)

Простейший и интуитивно понятный метод многокритериального выбора, в котором каждая цель или критерий умножается на свой вес, отражающий его важность.

Алгоритм применения:

1. Присвоение весов: Каждому критерию присваивается вес, который отражает его важность относительно других критериев. Веса могут быть любыми положительными числами, например, их можно нормировать так, чтобы их сумма равнялась 1.
2. Оценка по критериям: Каждый вариант (альтернатива) оценивается по всем критериям, для которых были заданы веса.
3. Взвешивание: Оценка каждого варианта по каждому критерию умножается на вес этого критерия.
4. Суммирование: Полученные взвешенные оценки для каждого варианта суммируются.
5. Выбор наилучшего варианта: Вариант с наибольшей (или наименьшей, в зависимости от задачи) взвешенной суммой считается лучшим.

Пример. Представьте, что вы выбираете новый ноутбук, используя три критерия: цена (P), производительность (R) и портативность (M).

Веса: вы решили, что производительность важнее всего, поэтому задали веса: $W_R=0.5$, $W_M=0.3$, $W_P=0.2$,

Оценки: Ноутбук А: $R_A=8$, $M_A=7$, $P_A=6$; Ноутбук В: $R_B=7$, $M_B=9$, $P_B=5$;

Расчеты: Ноутбук А: $(8 \cdot 0,5) + (7 \cdot 0,3) + (6 \cdot 0,2) = 7,3$; Ноутбук В: $(7 \cdot 0,5) + (9 \cdot 0,3) + (5 \cdot 0,2) = 7,2$;

Вывод: Ноутбук А имеет более высокую взвешенную сумму (7,3) по сравнению с ноутбуком В (7,2), поэтому, согласно этому методу, он является лучшим выбором

Метод Парето-анализа (или принцип Парето)

Основан на принципе оптимальности по Парето, который гласит: «Состояние системы является оптимальным, если нельзя улучшить значение одного критерия, не ухудшив при этом значение другого». Это инструмент для выявления и расстановки приоритетов, основанный на идее, что 80% результатов достигаются за счет 20% усилий. Этот метод помогает сосредоточить усилия на самых важных факторах, чтобы добиться наибольшей отдачи с наименьшими затратами

Алгоритм применения:

1. Формирование множества всех возможных альтернатив.
2. Выявление Парето-оптимальных (эффективных) альтернатив. Альтернатива А доминирует над альтернативой В, если А не хуже В по всем критериям и строго лучше хотя бы по одному. Альтернативы, над которыми нет доминирующих, образуют множество Парето.
3. Сужение исходного множества. Из дальнейшего рассмотрения исключаются все заведомо неэффективные (доминируемые) альтернативы.
4. Окончательный выбор из множества Парето с помощью дополнительных методов (например, МВС) или на основе экспертного суждения ЛПР (лица, принимающего решение).

Этот метод чрезвычайно полезен для отсева заведомо проигрышных вариантов на ранней стадии.

Экспертные методы. Метод Дельфи

В условиях полной или частичной неопределенности, когда отсутствуют статистические данные или точные математические модели, на помощь приходят экспертные методы. Это метод систематического и контролируемого опроса экспертов, направленный на выработку консенсусного мнения путем многотуровых анонимных обсуждений.

Алгоритм проведения:

1. Формирование группы экспертов. Эксперты не взаимодействуют друг с другом напрямую.
2. Первый тур. Эксперты дают индивидуальные ответы на поставленный вопрос (прогноз, оценку).
3. Обработка результатов. Организаторы вычисляют медиану и квартили полученных оценок.
4. Второй тур. Каждый эксперт получает анонимную сводку результатов первого тура (медиану и разброс мнений) и аргументы коллег. Его просят пересмотреть свою оценку или аргументировать свою позицию, если она сильно отличается от мнения большинства.
5. Повторение туров. Процедура повторяется несколько раз (обычно 3-4 тура).
6. Подведение итогов. Как правило, после нескольких итераций разброс мнений значительно сокращается, и медиана полученных оценок принимается в качестве коллективного решения.

Преимущества: Отсутствие психологического давления (эффекта «авторитета»), свойственного обычным совещаниям; минимизация конфликтов; структурирование групповой коммуникации.

Заключение

Мы рассмотрели лишь небольшую, но ключевую часть обширного арсенала методов системного анализа. Важно понимать, что не существует «универсального» метода, подходящего для всех задач. Выбор конкретного метода или их комбинации зависит от:

- природы системы (техническая, социальная, экономическая);
- степени определенности проблемы;
- доступности информации (количественные данные & экспертные оценки);
- целей исследования (диагностика, проектирование, оптимизация).

Сила системного анализа заключается не только в знании методов, но и в искусстве их грамотного применения в соответствии с конкретной ситуацией. Комбинируя методы структуризации, моделирования и оценки, мы можем последовательно пройти весь путь от хаотичной проблемы до обоснованного и эффективного решения. На последующих практических и лабораторных занятиях мы детально разберем применение этих методов на конкретных примерах.

Отдельную лекцию мы также посвятим принятию решений в системном анализе, после того как усвоим принципы и методы, а также познакомимся с моделированием систем в системном анализе.