

Системный анализ и моделирование

Тема 3. МЕТОДОЛОГИИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Базовая методология системного анализа

Предмет системного анализа

Системный анализ применяется для разрешения ***трудно формализуемых и слабо структурированных проблем.***

Примерами таких сложных проблем являются:

- низкая эффективность деятельности организационно-технологических объектов (предприятий, компаний, промышленных объединений);
- недостаточный уровень развития региона (его социальной сферы, транспортной системы, энергетики и т. д.);
- наличие угроз безопасности (энергетической, общественной);
- недостаточная отдача от инновационной деятельности.

Основная цель системного анализа — исследование «проблемосодержащей» системы, т. е. системы, в которой возникла проблема, анализ причин ее возникновения и синтез системы мер для ликвидации проблемы.

Системный анализ - система методов исследования или проектирования сложных систем, поиска, планирования и реализации изменений, предназначенных для ликвидации проблем

Инструментарий системного анализа:

- системные представления;
- модели и методы, предлагаемые различными направлениями «науки о системах»;
- широкий спектр средств различных наук;
- неформальные эвристические методы;
- здравый смысл;
- опыт практической деятельности.

Методология — учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности.

Методологическое знание выступает в двух формах:

- *предписаний и норм*, в которых фиксируются содержание и последовательность определённых видов деятельности (нормативная методология),
- *описаний фактически выполненной деятельности* (дескриптивная методология).

Принципы системного анализа:

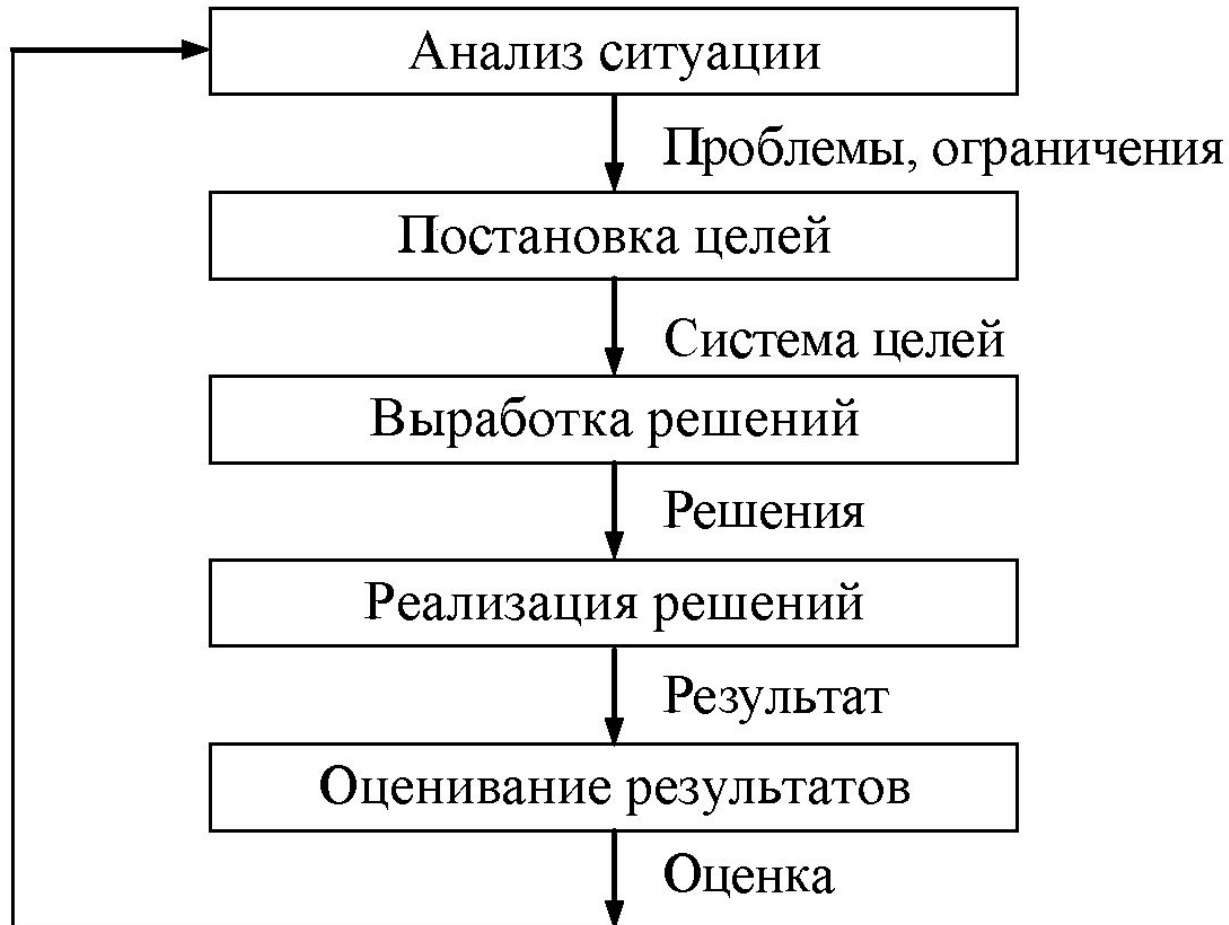
- комплексность;
- системность.

Принцип комплексности предполагает полноту и всесторонность рассмотрения объекта анализа.

Принцип системности предполагает необходимость рассматривать все элементы системы, а также различные состояния системы и ее элементов не изолированно, а во *взаимосвязи и взаимообусловленности*.

Только так можно понять не только как система работает, но и почему и зачем она это делает.

Этапы системного анализа



- 1. Анализ ситуации** — выявление проблемы, определение актуальности проблемы, анализ проблемы, выявление изменений, выявление причин.
- 2. Постановка целей** — формулирование целей, формирование критериев и ограничений.
- 3. Выработка решений** — разработка альтернатив, оценка и выбор альтернатив, согласование решений.
- 4. Реализация решений** — утверждение решений, подготовка к внедрению, управление процессом реализации.
- 5. Оценивание результатов** — оценка реализации и ее последствий, проверка эффективности.

Анализ ситуации

Цель этапа — выявление, формулирование проблемы.

1. Анализ соответствия процессов требованиям со стороны различных заинтересованных сторон — участников проблемы (акторы, стейкхолдеры (от англ. *stakeholders* — «держатели ставок»)).
2. Оценка уровня развития исследуемой системы в сравнении с аналогичными системами.

3. Анализ текущего состояния исследуемой системы, а также динамики изменения ее состояний, установление тенденции, закономерности в функционировании системы на основе обобщения прошлого опыта.

4. Причинный (каузальный) анализ — используется для выявления причин возникновения текущей ситуации.

5. Факторный анализ.

Постановка целей

Закономерности целеобразования:

- 1. Расплывчатость, изменчивость целей;*
- 2. Множественность целей;*
- 3. Взаимовлияние целей.*

Выработка решений

Необходимо сгенерировать возможные альтернативные варианты достижения целей, выполнить сравнение и оценку вариантов и выбрать оптимальный вариант, обеспечивающий наилучшие значения критериев и удовлетворяющий ограничениям.

Генерирование альтернатив:

- логический поиск (методологии деревьев целей, анализа иерархий и др.);
- методы композиции (метод морфологического анализа и др.);
- методы активизации мышления.

Оценка альтернатив и выбор оптимальных вариантов:

- от формальных методов (например, методов математического программирования, методов исследования операций)
- до экспертных методов.

Иерархическое принятие решений

Необходимо увязать решения, принятые для отдельных подсистем, друг с другом и с целями всей системы в целом.

Основные стратегии решения задач координации:

- восходящая,
- нисходящая,
- смешанная.

Восходящая стратегия

Предполагает прохождение иерархии подсистем снизу вверх:

- для каждой из подсистем нижнего уровня выбирается оптимальный вариант;
- согласование выбранных вариантов и их агрегация в варианты вышестоящих подсистем;
- полученные агрегированные варианты также обобщаются до тех пор, пока не будет сформирован вариант всей системы в целом.

Недостаток стратегии - при выборе вариантов учитываются только локальные критерии эффективности и результирующее решение может быть слишком далеко от глобального оптимума.

Нисходящая стратегия

Предполагает прохождение иерархии подсистем сверху вниз:

- выбирается оптимальный обобщенный вариант всей системы в целом.
- выбор оптимальных вариантов для подсистем второго уровня с учетом выбранного варианта первого уровня.
- аналогичным образом выбираются варианты следующих уровней

Недостаток стратегии - на верхнем уровне может быть выбран нереализуемый обобщенный вариант, для которого не удастся найти варианты подсистем, удовлетворяющие ограничениям, накладываемым этим вариантом.

Смешанная стратегия

Предполагает прохождение иерархии «сверху вниз с возвратом»:

- в случае если для какой-либо подсистемы не удастся найти вариант, удовлетворяющий ограничениям материнской подсистемы, осуществляется возврат на предыдущий уровень и выбирается вариант, накладывающий менее жесткие ограничения на дочерние подсистемы.
- если этот, более «мягкий», вариант материнской системы нарушает ограничения подуровня, в который она входит, то осуществляется переход к еще более высокому уровню с тем, чтобы «ослабить» ограничения подуровня и т. д.

Реализация решений и оценивание результатов

- разработка обеспечивающих комплексов (нормативно-правовое, организационное, финансовое и др. виды обеспечения);
- разработка плана мероприятий по внедрению решений с учетом имеющихся ресурсов и сроков внедрения:
 - ✓ распределить весь процесс на этапы;
 - ✓ распределить обязанности (ответственность) и назначить исполнителей на каждом этапе;
 - ✓ определить состав и количество необходимых ресурсов;
 - ✓ распределить ресурсы по этапам;
 - ✓ установить даты начала и завершения каждого этапа, принимая в расчет их согласованность между собой и возможность поступления ресурсов.

- выявление потенциальных рисков, составляющих угрозу срыва плана или ненадлежащего выполнения:
 - ✓ идентификация предполагаемых рисков (технических, правовых, организационных и т. д.);
 - ✓ оценка рисков по критериям вероятности и значимости;
 - ✓ классификация по степени терпимости;
 - ✓ разработку мер по снижению или нейтрализации рисков.
- реализация разработанной программы;
- оценка последствий ее реализации

Методы организации экспертиз

- 1. Мозговая атака (мозговой штурм)** - групповое обсуждение с целью получения новых идей, вариантов решений проблемы.

Принципы использования метода:

- сознательное генерирование как можно большего количества вариантов;
- запрет критики любой идеи, какой бы дикой она ни казалась;
- предпочтительное использование не систематического логического мышления, а фантазии, ассоциаций, образного мышления;
- комбинирование или усовершенствование идей, предложенных участниками мозговой атаки.

- 2. Метод Дельфи** - предполагает анонимность и физическое разделение членов группы, созданной для решения некоторой проблемы.

3. Эвристические приемы

Десять эвристических приемов:

- **неология** — использование уже созданной системы (компонента, процесса, формы, конструкции), используемой в других отраслях, применительно к проектируемому изделию;
- **адаптация** — приспособление известной системы для конкретных условий (характеристики исходной системы изменяются не более чем вдвое);
- **мультипликация** — гиперболизация или миниатюризация, т. е. умножение параметров исходной системы в несколько раз;

- **дифференциация** — разделение функций и элементов системы в пространстве, во времени;
- **интеграция** — объединение, совмещение (технологическое, пространственное, временное) функций и элементов;
- **инверсия** — переворачивание, обращение функций, конструкции и расположения элементов;

- **импульсация** — организация прерывистых процессов (периодических, аperiodических);
- **динамизация** — проектирование системы с изменяющимися параметрами;
- **аналогия** — отыскание сходства, подобия с различными системами;
- **идеализация** — представление идеального решения.

Методологии анализа систем

Все прикладные методологии можно условно разделить на две группы:

- Методологии структурного анализа;
- Методологии логического анализа.

Методологии структурного анализа систем

Суть структурного подхода - построение многоуровневой иерархической структуры исследуемой системы на основе использования отношений «целое-часть», что позволяет рассматривать систему на разных уровнях абстрагирования (по типу страт).

Анализируется не проблема, т. е. не причины ее возникновения или способы ее решения, а сама проблемосодержащая система.

Декомпозиция системы позволяет подробно рассмотреть, как она устроена, из чего состоит, как работает.

Основная цель — наглядность представления структуры системы.

Для ее отражения используются схемы, графы, диаграммы, построенные с использованием некой графической нотации.

Системному аналитику, имеющему в своем распоряжении подобную модель, проще уяснить проблему, локализовать ее.

Большинство методологии структурного анализа используют *функциональную декомпозицию*.

Система и ее подсистемы при этом рассматриваются как процессы (работы, операции), осуществляющие некоторые преобразования.

Формируемое дерево процессов представляет собой модель функционального состава системы, т. к. выделение той или иной подсистемы осуществляется в соответствии с тем, какую функцию она должна выполнять, *что* она должна делать.

То, *как*, каким образом, с помощью каких ресурсов подсистема выполняет свою функцию, представляется в виде структурированного описания.

Как правило, при этом используется некий шаблон (классификатор).

Методология IDEF0

Начало разработке семейства методологий структурного анализа IDEF (Integration DEFinition) положил проект ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing), предложенный в конце 1970-х гг. ВВС США.

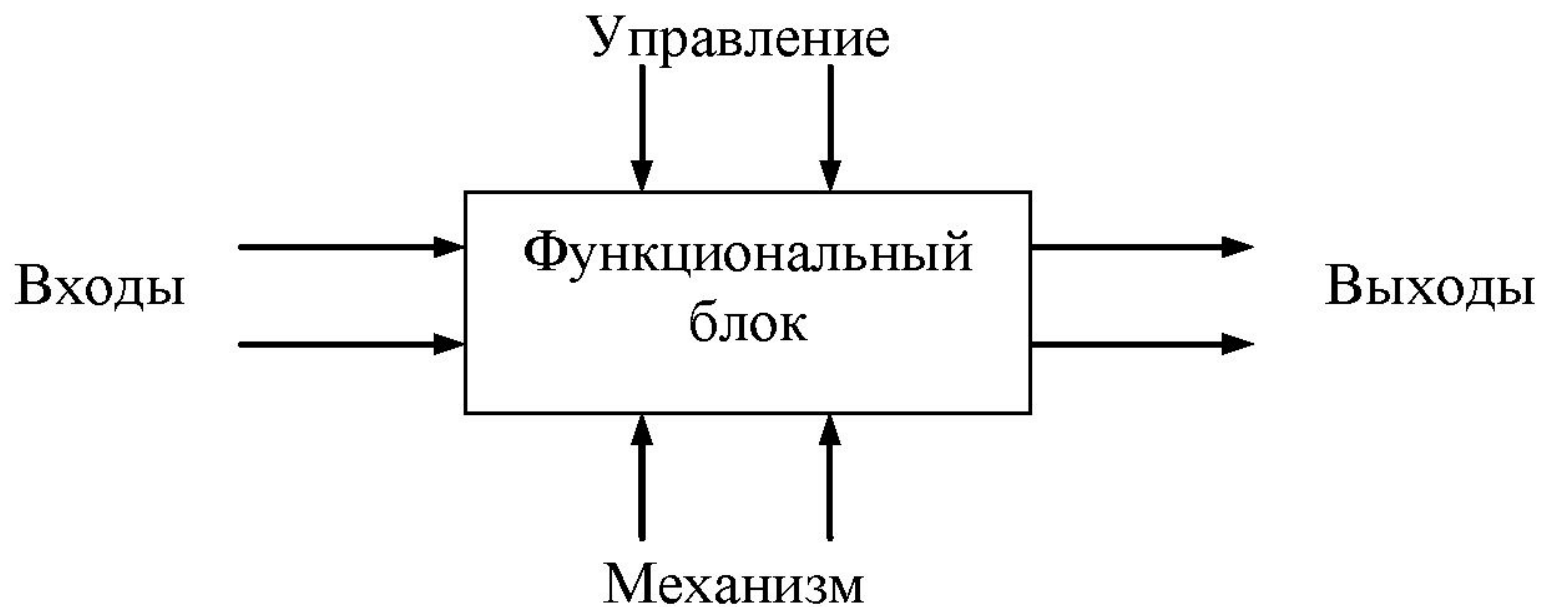
Цель проекта - разработка подходов, обеспечивающих повышение эффективности производства благодаря систематическому внедрению компьютерных технологий.

Было разработано три самостоятельных методологии - IDEF0, IDEF1 и IDEF2 для создания соответственно функциональной, информационной и динамической модели производственной системы.

IDEFO-модель использует графический язык для отражения информации о конкретной системе.

Модель состоит из диаграмм и фрагментов текста. На диаграммах все функции системы и их взаимодействия представлены как блоки (функции) и дуги (отношения)

Функциональный блок IDEF0-диаграммы



Основной конструкцией модели является **функциональный блок (activity — активность)**, представленный в виде прямоугольника и отображающий некоторую функцию (действие, процесс, операцию).

Внутри блока записывается его наименование. Оно должно содержать глагол или отглагольное существительное.

Например: «разработать проект», «изготовление продукта», «планирование».

Назначение дуг

- **«вход» (I — input)** — дуги, входящие слева от блока. Они представляют собой предметы или данные, необходимые для выполнения функции блока (сырье, материалы, исходная информация);
- **«выход» (O — output)** — дуги, выходящие справа из блока. Они показывают предметы или данные, полученные в результате выполнения функции (продукция, услуга, выходные данные);
- **«управление» (C — control)** — дуги, входящие сверху блока. Они описывают условия или данные, которые управляют выполнением функции (инструкции, требования, стандарты);
- **«механизм» (M — mechanism)** — дуги, входящие снизу блока. Они обозначают исполнителей или средства, выполняющие функцию (персонал, подразделения фирмы, оборудование, инструменты, информационная система).

Диаграмма А-0

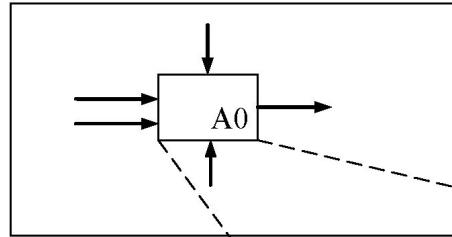


Диаграмма А0

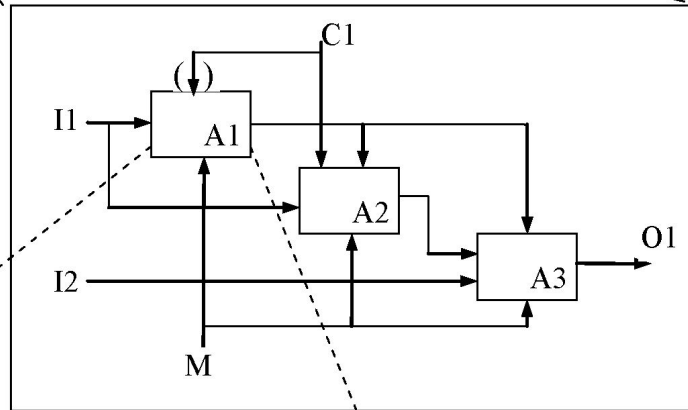
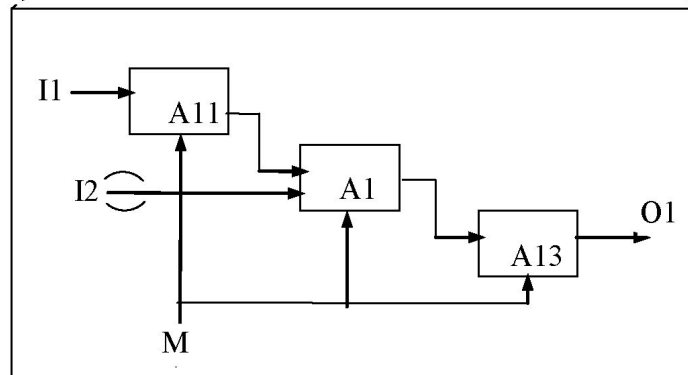
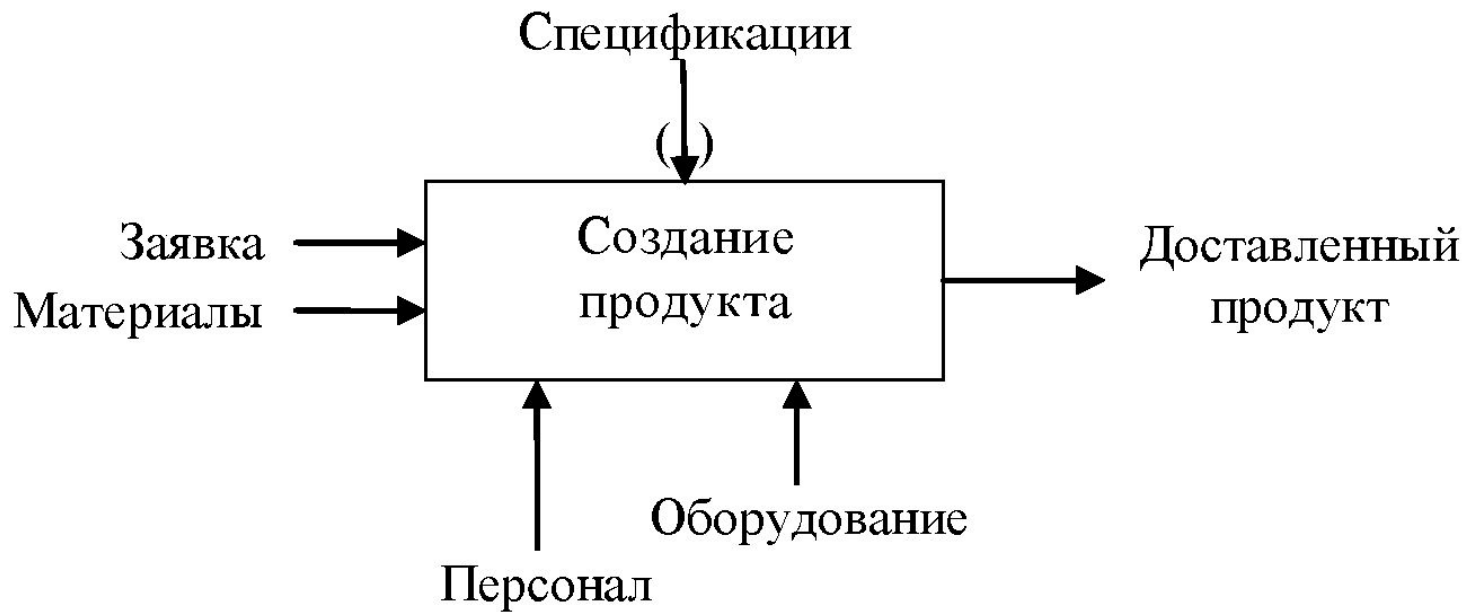


Диаграмма А1



Пример контекстной диаграммы



Цель: описать процесс создания продукта на заказ

Точка зрения: аналитик

Пример диаграммы декомпозиции



Типы связей между блоками:

- **связь по входу** — выход вышестоящего блока направляется на вход нижестоящего для дальнейшего преобразования;
- **связь по управлению** — выход вышестоящего блока направляется на управление нижестоящего (например, один блок вырабатывает план, предписывающий, что и как должен делать другой блок);
- **обратная связь по входу** — выход нижестоящего блока направляется на вход вышестоящего (например, результатом функции контроля качества может быть отбракованный продукт, который передается на вторичную переработку);
- **обратная связь по управлению** — выход нижестоящего блока направляется на управление вышестоящего (например, результат корректировки проекта может передаваться на повторную реализацию проекта);
- **связь «выход-механизм»** — выход одного блока направляется на механизм другого (например, один блок подготавливает ресурсы, необходимые для работы другого блока).

Пример дерева узлов



Методологии логического анализа систем

Суть логического анализа - поиск причинно-следственных связей между проблемами и их причинами (или следствиями), между целями и средствами их достижения.

В его основе лежит модель типа слоев.

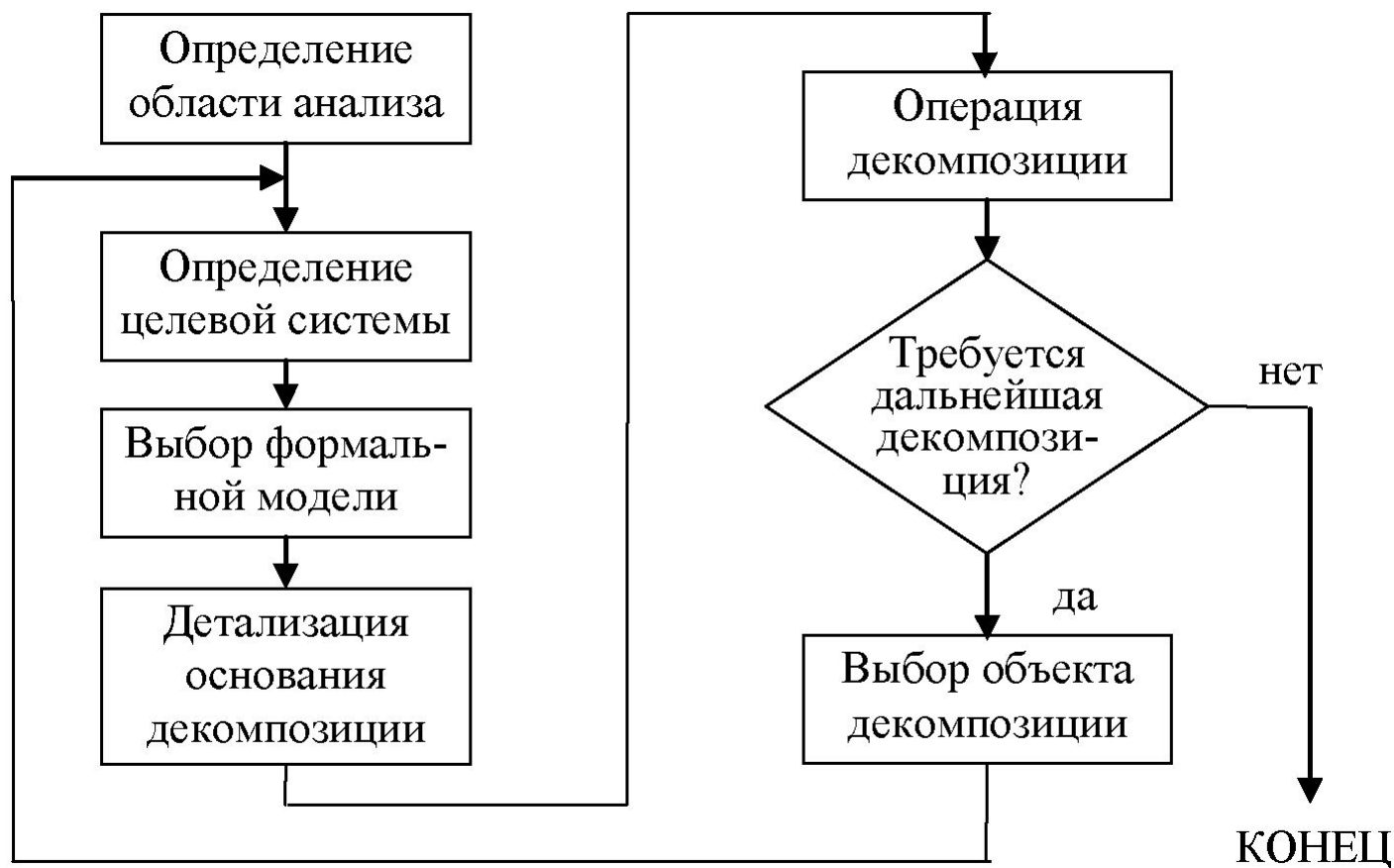
Аналізу при этом подвергается не проблемосодержащая система, а непосредственно проблема — каковы логические причины ее возникновения, к каким последствиям она может привести, каковы пути ее устранения.

При проектировании проблеморазрешающей системы анализу подвергается не воображаемая проектируемая система, а цель системы — с помощью каких средств она может быть достигнута, какие решения могут привести к цели и к разрешению проблемы.

Методологии построения дерева целей

Идея метода дерева целей состоит в декомпозиции глобальной цели системы на отдельные подцели, достижение которых обеспечивает достижение глобальной цели. Подцели, в свою очередь могут разбиваться на более мелкие подцели и т. д. Процесс заканчивается, если подцели нижнего уровня могут считаться элементарными, т. е. способ их достижения достаточно очевиден.

Обобщенная схема построения дерева целей



1. Определение области анализа. Формулируется глобальная цель в виде некоторого высказывания, подлежащего анализу. От правильности формулировки во многом зависит, получим ли мы в результате анализа то, что хотели.

2. Определение целевой системы (точки зрения). Определяется система, в интересах которой выполняется весь анализ. Этот блок определяет, зачем нужно то, что мы будем делать.

3. Выбор формальной модели. Из набора типовых оснований декомпозиции, являющихся формальными моделями системы, эксперт выбирает наиболее подходящее основание.

Примеры формальных моделей: «Жизненный цикл», «Структурные элементы деятельности», «Управленческий цикл». Нужно уточнить, что система, с которой связан объект анализа, и система, по модели которой проводится декомпозиция, не обязательно совпадают. Например, одна из этих систем может являться подсистемой или надсистемой для другой.

4. Детализация основания декомпозиции. Формальную модель необходимо наполнить содержанием с учетом выбранной области анализа и целевой системы. Например, необходимо конкретизировать этапы жизненного цикла производства продукта или цикла управления, составить конкретные классификаторы структурных элементов для рассматриваемого вида деятельности.

5. Операция декомпозиции. Для каждой подсистемы, выделяемой в соответствии с выбранным основанием декомпозиции, формулируется подцель, связанная с данной подсистемой и обеспечивающая достижение декомпозируемой цели.

6. Проверка. Полученные подцели нижнего уровня проверяются на элементарность. Если все «листья» дерева можно считать элементарными (простыми, понятными, реализуемыми), то построение дерева целей заканчивается.

7. Выбор объекта декомпозиции. Выбирается одна из подцелей, нуждающихся в дальнейшей декомпозиции (из множества не элементарных целей), и осуществляется переход на шаг 2.

Последовательность уровней дерева:

«глобальная цель» — «конечные продукты» —
«целеполагающие системы» — «жизненный цикл
производства» — «состав системы (ресурсы)» —
«управленческий цикл»

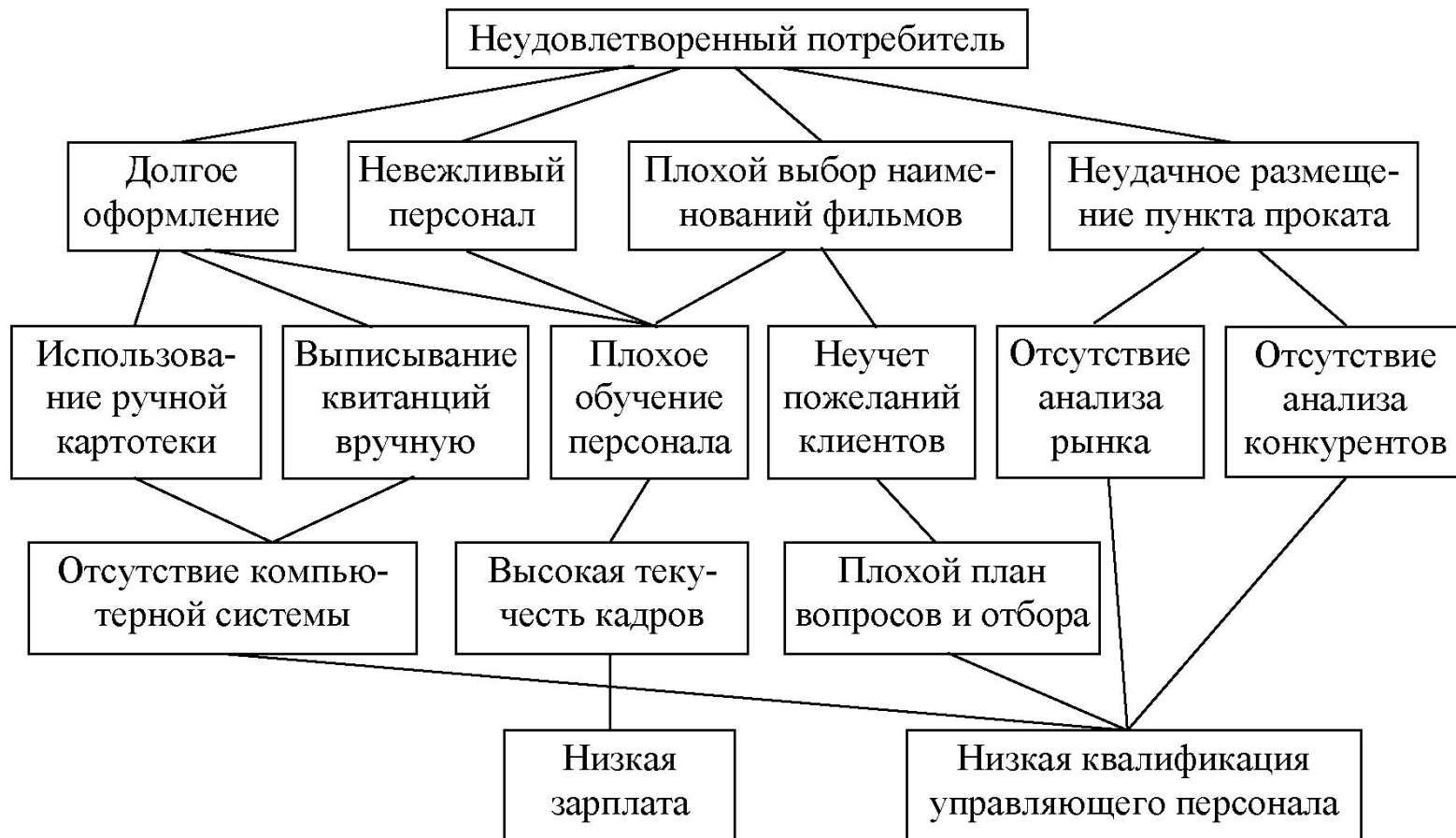
Пример дерева целей



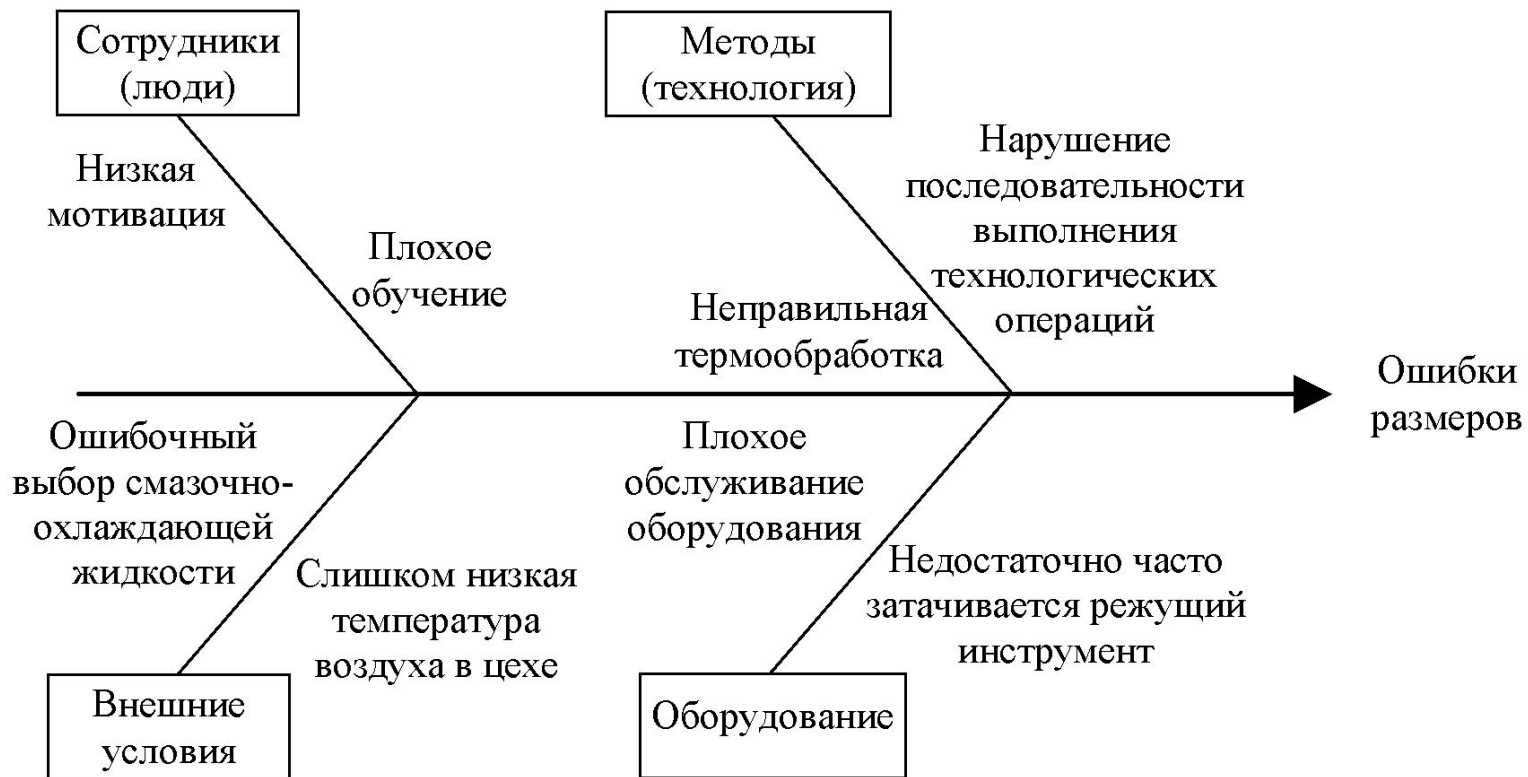
Основное достоинство методологии дерева целей
- позволяет связать сложную многофакторную цель со средствами ее достижения, т. к. «элементарные» подцели на нижнем уровне, по сути, определяют пути достижения глобальной цели.

Основной недостаток методологии — сложность и неоднозначность процесса построения дерева целей.

Использование методологии для поиска причин возникновения проблемы



Причинно-следственная диаграмма ("рыбий скелет")



Методология анализа иерархий

Метод анализа иерархий (МАИ), предложенный Томасом Саати, использует методологию дерева целей, т. е. также основан на формировании иерархии целей и средств по типу слоев.

Данный метод предназначен для выбора средств решения сложной многофакторной проблемы и состоит в декомпозиции цели на все более простые составляющие (подцели и средства) и дальнейшей оценке этих составляющих путем парных сравнений.

В результате определяется численная оценка приоритетности элементов иерархии, используемая для выбора наилучших альтернатив решения исходной проблемы

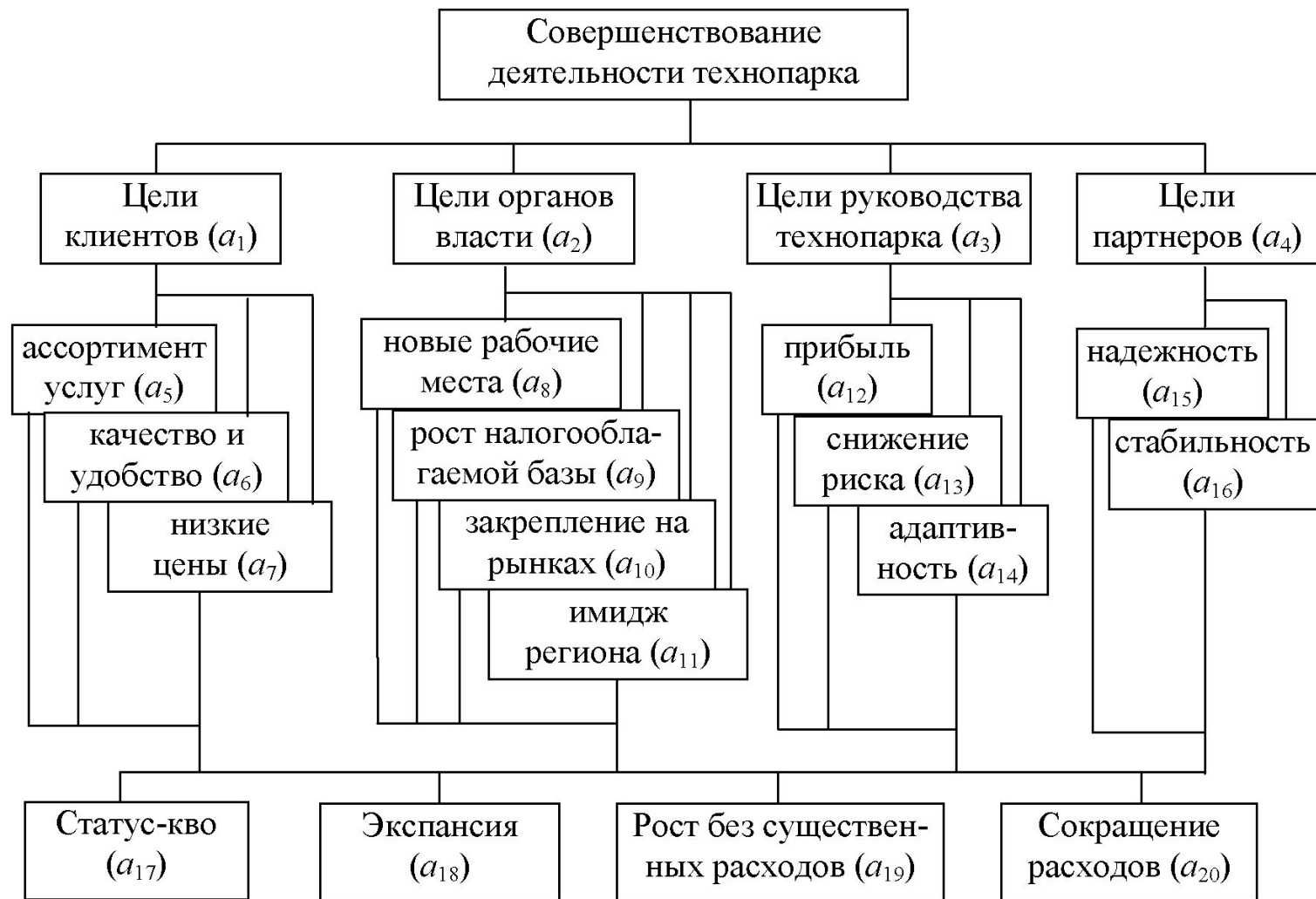
Основные этапы метода анализа иерархии:

1. Иерархическое представление проблемы.
2. Построение множества матриц парных сравнений.
3. Определение векторов локальных приоритетов.
4. Проверка согласованности полученных результатов.
5. Вычисление глобальных приоритетов.

Иерархическое представление проблемы

Порядок следования уровней:

- глобальная цель (фокус);
- акторы — группы лиц, заинтересованных в решении проблемы;
- цели акторов;
- политики акторов, с помощью которых могут достигаться выдвинутые ими цели;
- альтернативные сценарии, каждый из которых в той или иной мере реализует политики акторов.



Построение множества матриц парных сравнений

Элементы любого уровня сравниваются друг с другом относительно их воздействия на направляемый элемент. Для каждой совокупности элементов, связанных с одним вышестоящим элементом, строится матрица парных сравнений.

Необходимо построить: одну матрицу, соответствующую второму уровню иерархии, для сравнения влияния акторов на глобальную цель; четыре матрицы, соответствующие третьему уровню, для сравнения различных целей каждого из четырех акторов; двенадцать матриц, соответствующих четвертому уровню, для оценки влияния сценариев на каждую из целей акторов.

Шкала относительной важности

Оценка важности	Определение	Объяснения
1	Равная важность	Равный вклад двух элементов в Цель
3	Умеренное превосходство	Опыт и суждения дают легкое превосходство одному элементу над другим
5	Существенное или сильное превосходство	Опыт и суждения дают сильное превосходство одному элементу над другим
7	Значительное превосходство	Одному элементу дается настолько сильное превосходство, что оно становится практически значительным
9	Очень сильное превосходство	Очевидность превосходства одного элемента над другим подтверждается наиболее сильно
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения	Применяются в компромиссном случае

Определение векторов локальных приоритетов

На основе каждой из построенных матриц парных сравнений формируются наборы локальных приоритетов, которые отражают относительные приоритеты (ценность, важность, силу влияния) сравниваемых элементов по отношению к направляемому элементу.

Для этого нужно вычислить множество собственных векторов для каждой матрицы, а затем нормализовать результат к единице, получая тем самым вектор приоритетов.

Проверка согласованности полученных результатов

При составлении матриц парных сравнений экспертные суждения не должны нарушать аксиомы упорядоченности. В частности, если один элемент лучше другого, а тот, в свою очередь, лучше третьего, то первый также должен быть лучше третьего, причем сила предпочтения первого элемента над третьим должна быть больше, чем первого над вторым и второго над третьим.

Однако людям свойственно ошибаться. Поэтому матрицы парных сравнений, основанные на субъективных суждениях, могут быть несогласованными. Для оценки степени отклонения от согласованности используется так называемый индекс согласованности (ИС).

$$\text{ИС} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

Вычисление глобальных приоритетов

На последнем шаге анализа локальные приоритеты пересчитываются с учетом приоритетов направляемых элементов.

Глобальные приоритеты направляемых элементов		Локальные приоритеты сценариев			
Элемент	Приоритет	«Статус-кво» (a_{17})	«Экспансия» (a_{18})	«Рост без существенных расходов» (a_{19})	«Сокращение расходов» (a_{20})
Ассортимент услуг (a_5)	0.0865	0.1066	0.5438	0.2921	0.0573
Качество и удобство (a_6)	0.1629	0.1333	0.5333	0.2666	0.0666
Низкие цены (a_7)	0.0306	0.2332	0.0506	0.1277	0.5883
Новые рабочие места (a_8)	0.0383	0.1212	0.5806	0.2317	0.0663
Рост налогооблагаемой базы (a_9)	0.096	0.1177	0.5265	0.3049	0.0508
Закрепление на рынках (a_{10})	0.0222	0.1469	0.5136	0.2807	0.0586
Имидж региона (a_{11})	0.0099	0.2009	0.5204	0.2009	0.0775
Прибыль (a_{12})	0.3599	0.2224	0.1250	0.5761	0.0763
Снижение риска (a_{13})	0.0887	0.5136	0.0586	0.2807	0.1469
Адаптивность (a_{14})	0.0364	0.1093	0.2089	0.5723	0.1093
Надежность (a_{15})	0.0566	0.5261	0.1099	0.3010	0.0628
Стабильность (a_{16})	0.0113	0.5806	0.0663	0.2317	0.1212
		Глобальные приоритеты сценариев			
		0.2253	0.2898	0.3919	0.0928