

# 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:

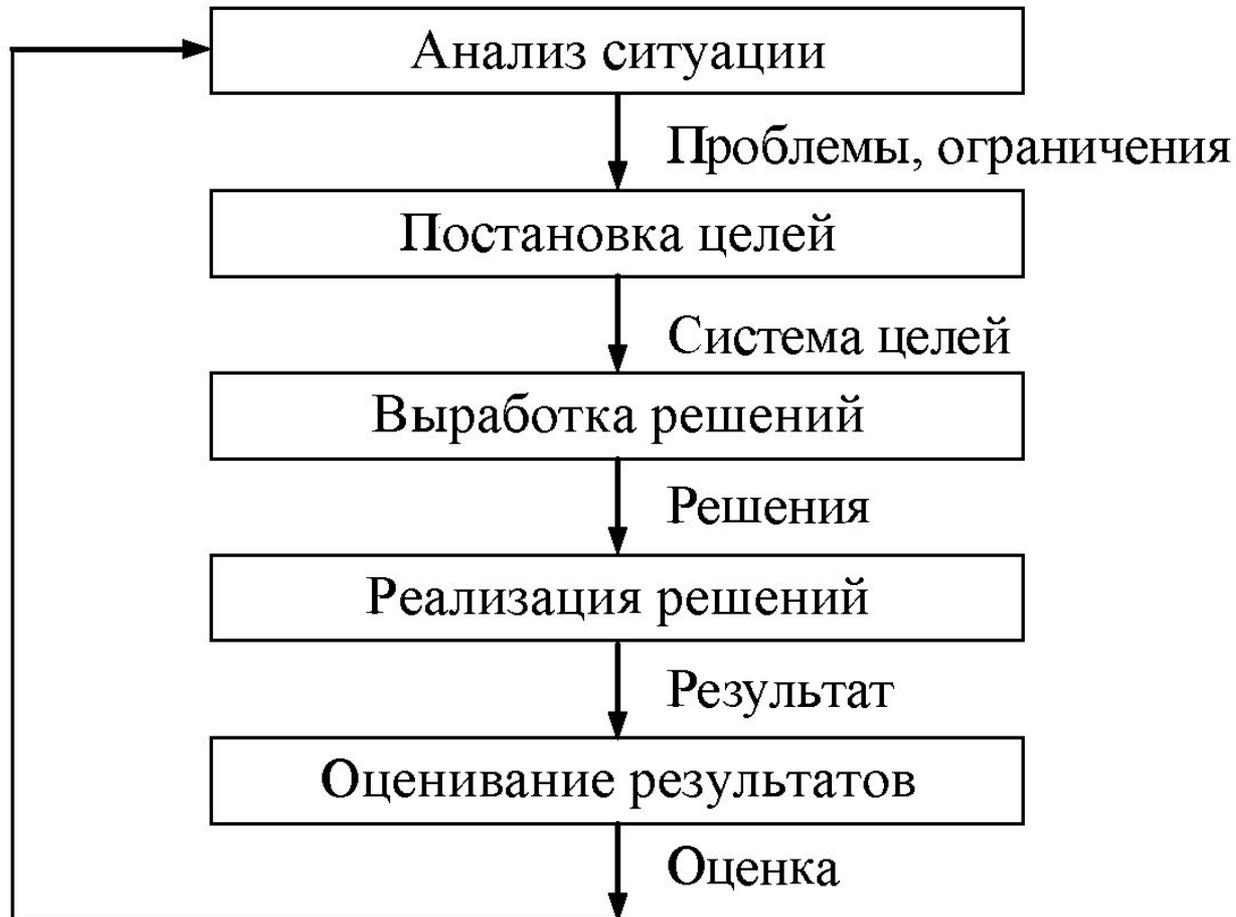
- комплексность;
- системность.

*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 IDEFO***

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

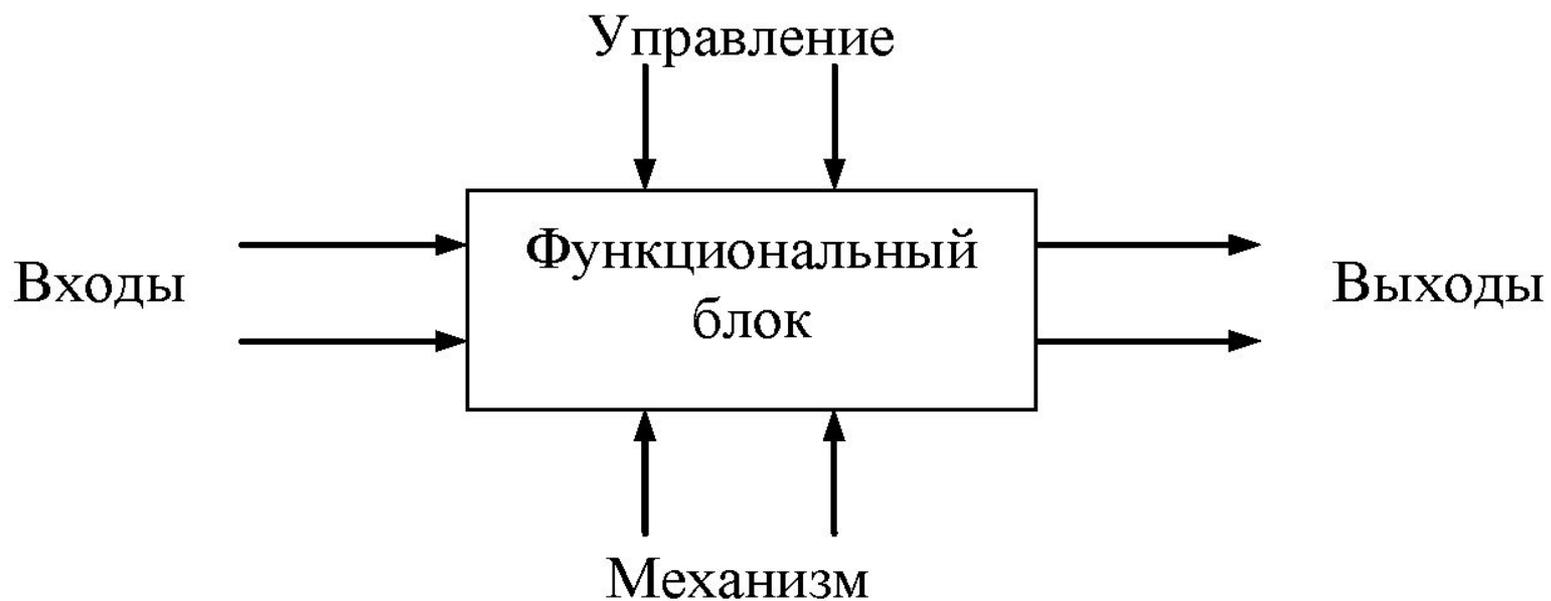
Цель проекта - разработка подходов, обеспечивающих повышение эффективности производства благодаря систематическому внедрению компьютерных технологий.

Было разработано три самостоятельных методологии - IDEFO, IDEF<sub>1</sub> и IDEF<sub>2</sub> 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

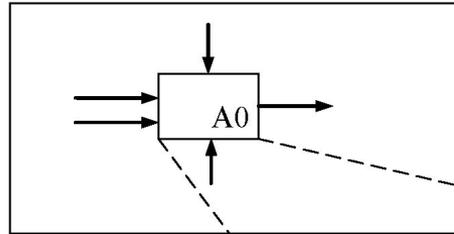


Диаграмма А0

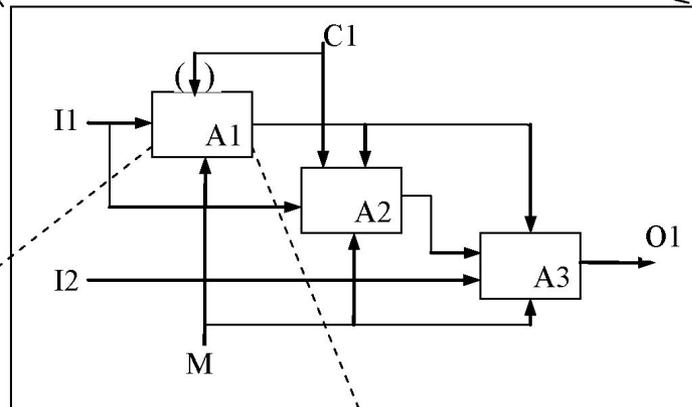
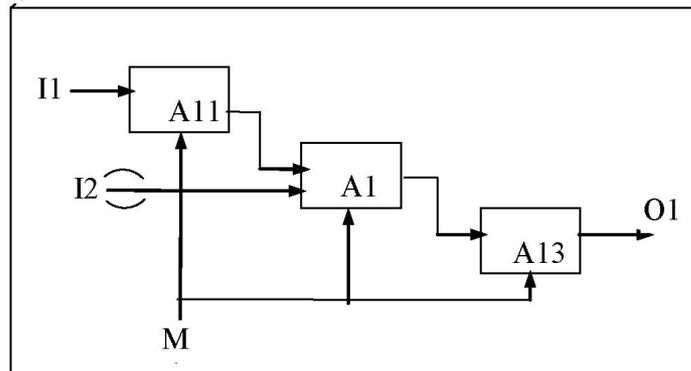
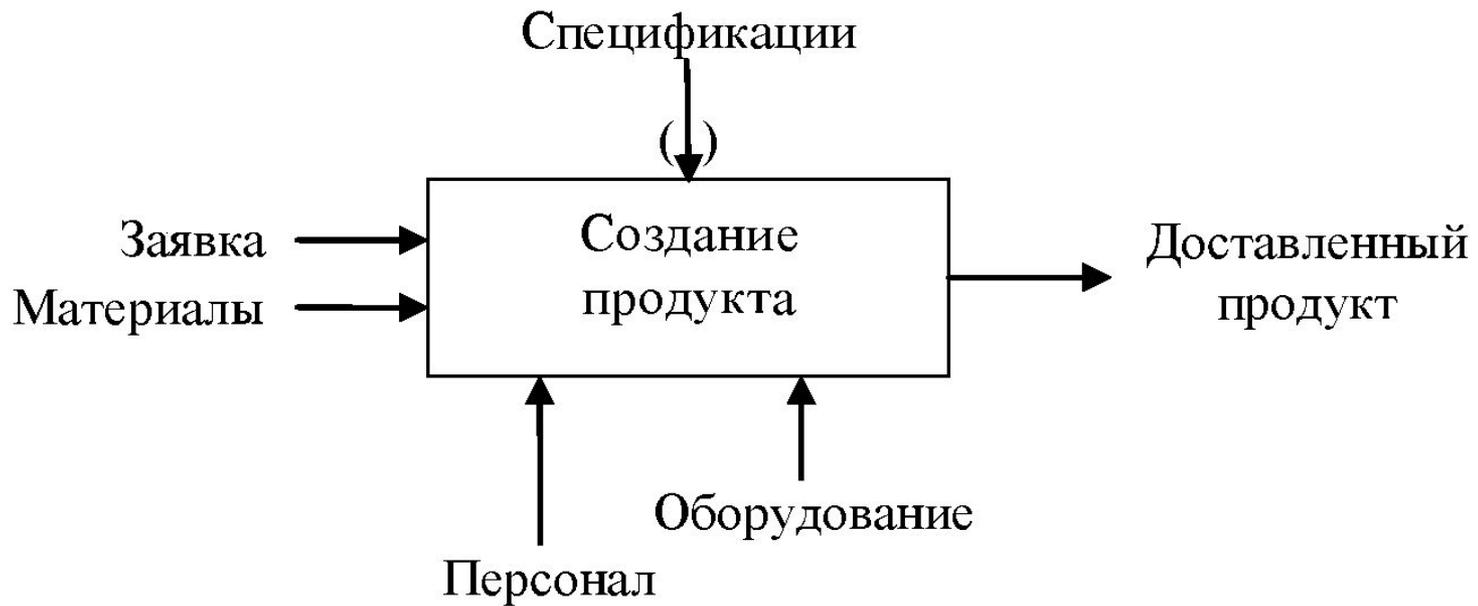


Диаграмма А1



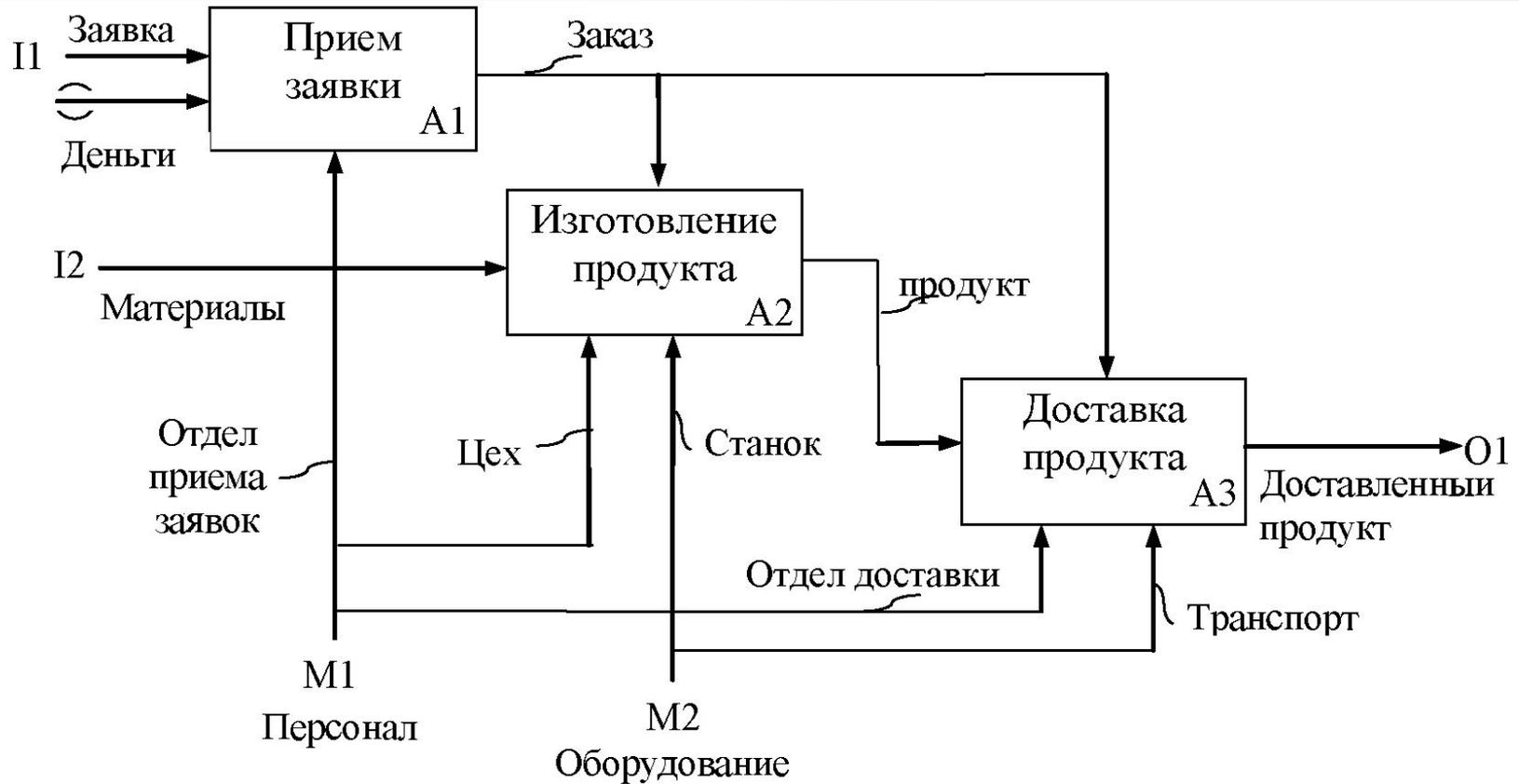
# Пример контекстной диаграммы



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.

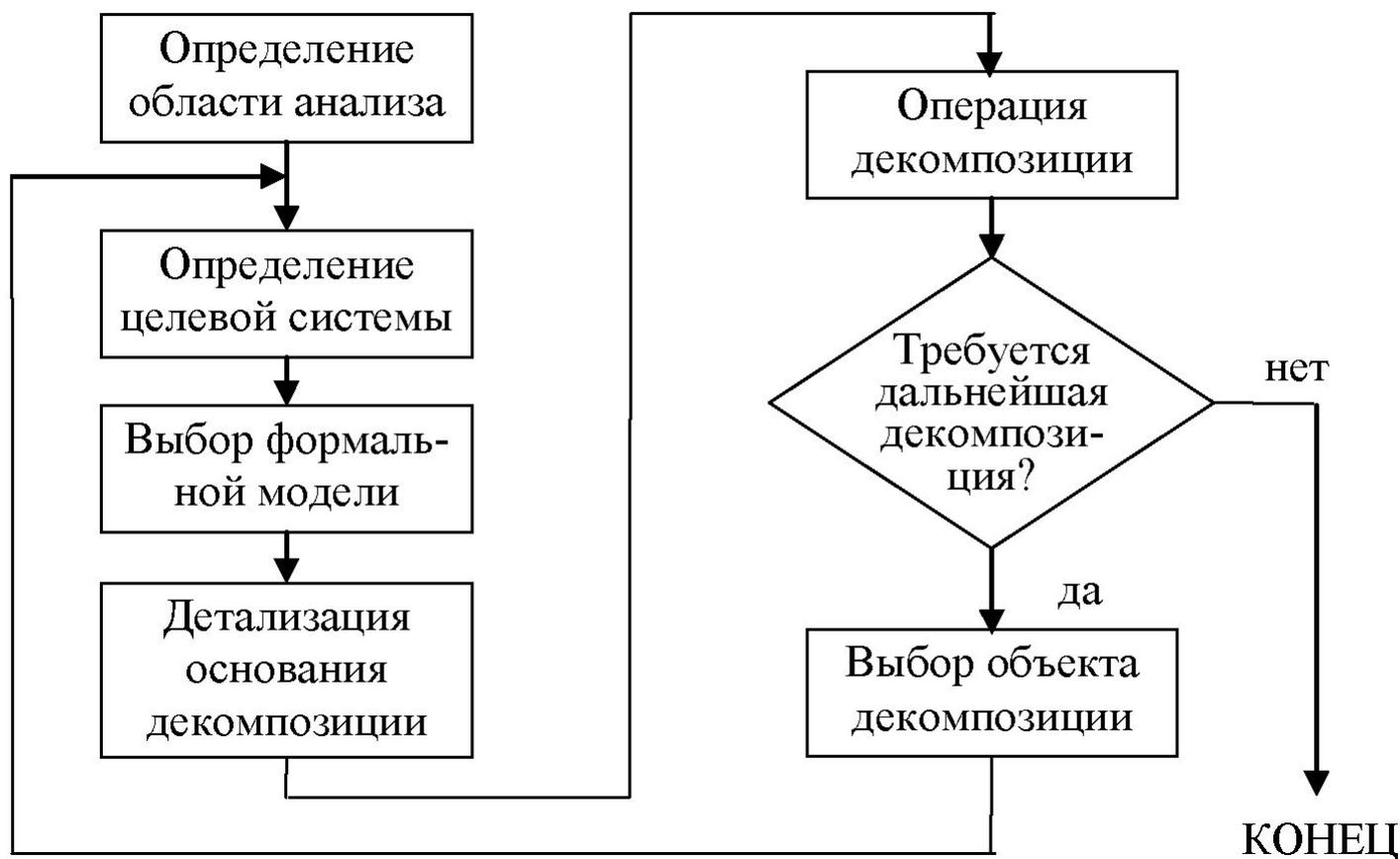
Аналізу при этом подвергается не проблемосодержащая система, а непосредственно проблема — каковы логические причины ее возникновения, к каким последствиям она может привести, каковы пути ее устранения.

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»

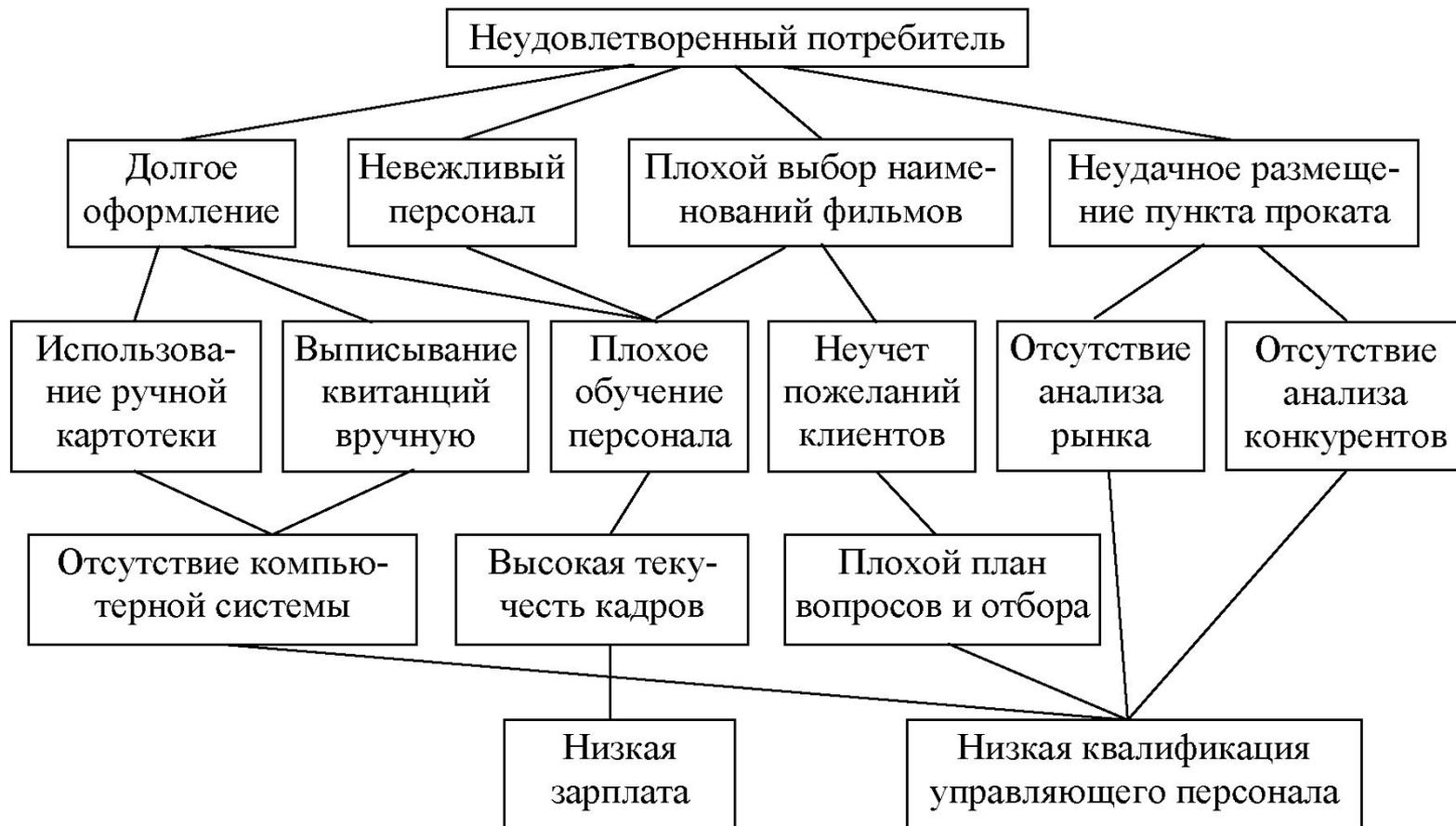
# Пример дерева целей



**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

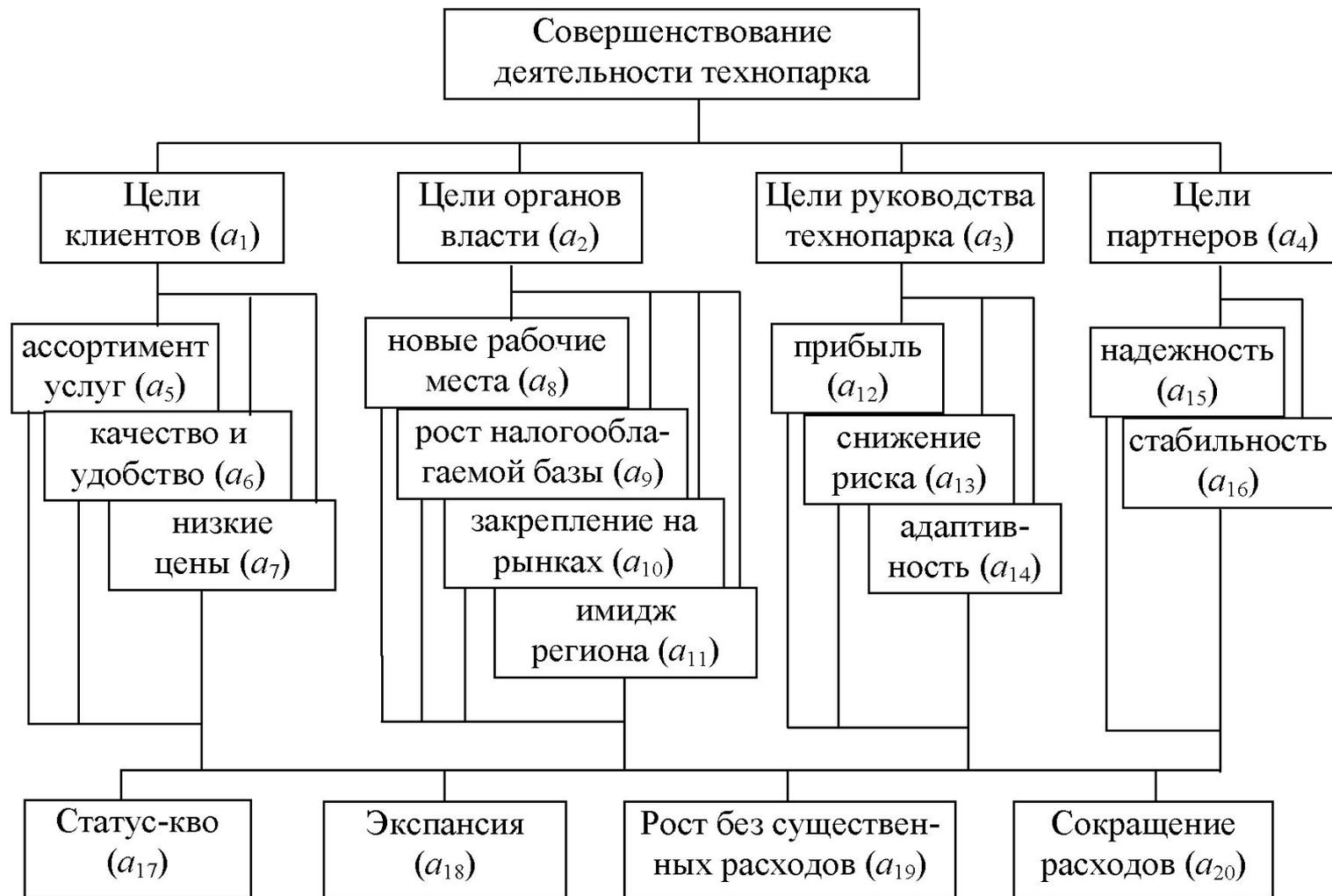
## Основные этапы метода анализа иерархии:

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