

ОСНОВЫ системного анализа

Лекция 2. Логика и методология системного анализа

Содержание лекции:

- Логические основы системного анализа
- Понятие о методе и методологии
- Основные закономерности систем
- Классификация методов системного анализа

Преподаватель курса: Нефедов Денис Геннадьевич, к.т.н., доцент

Логические основы системного анализа

Логика – наука о законах, формах и приемах правильного построения мышления, направленного на познание объективного мира.

Категории логики:

1. Проблема – несоответствие между желаемым и фактическим положением дел.

Выделяют **три класса** проблем:

- **хорошо структурированные** (количественно сформированные). Применяется математический аппарат исследования операций;
- **слабо структурированные** (смешанные), содержащие количественные и качественные оценки. Применяются системные методы;
- **неструктурированные** (качественные). Применяются эвристические методы.

Научная проблема – проблема, решение которой не содержится в накопленном обществом знании.

Мнимая проблема – проблемно-подобные структуры, не являющиеся проблемами, которые либо ошибочно принимаются за проблемы, либо выдаются за таковые.

Экстранаучные мнимые проблемы – причины которых находятся вне науки. В основе их возникновения – мировоззренческие, методологические, идеологические и прочие заблуждения.

Интранаучные проблемы – причины которых лежат в самом познании, в его достижениях и трудностях. К ним относятся:

- «уже не проблемы», то есть решенные, но ошибочно принимаемые за нерешенные;
- «еще не проблемы», которые возникают как следствие отрыва нашего мышления от реальных возможностей настолько, что ни в настоящее время, ни в обозримом будущем нет возможности решить данные проблемы;
- «никогда не проблемы», то есть такие проблемно-подобные структуры, для которых вообще не существует решения (например, создание вечного двигателя), постановка которых противоречит фундаментальным принципам науки.

2. **Гипотеза** – предположение о существовании каких-то предметов или их свойств, которые могут стать объектом практической деятельности.

3. **Теория** – совокупность знаний, образующих систему на основе некоторых общих положений, то есть это система знаний, пронизанная общими положениями, идеями.

– **дедуктивная теория** – содержит основные положения – **постулаты** – высказывания, которые логически не выводятся из других знаний в рамках этой же теории, а являются обобщением опыта и проверяются опытами (прямыми или косвенными).

– **описательная теория** – законы формулируются не в начале теории, а по мере развертывания материала (например, эволюционная теория Дарвина).

Понятие о методе и методологии

Метод – путь познания, опирающийся на некоторую совокупность ранее полученных общих знаний.

Методология системного исследования – совокупность системных методов и средств, направленных на решение сложных и комплексных проблем.

Методология делится на

- **учение об исходных основах познания**. Анализируются и оцениваются те философские представления и взгляды, на которые исследователь опирается в процессе познания.
- **учение о способах и приемах исследования**. Рассматриваются общие стороны частных методов познания, составляющих общую методику исследования.

Систематизация – это объединение предметов или знаний о них путем установления существенных связей между ними, порядка между частями целого на основе определенных закономерностей, принципов или правил.

Основные закономерности систем

Закономерности (свойства) систем:

1. **Целостность** – проявляется в системе в возникновении новых обобщающих качеств, не свойственных образующим ее элементам.

Двумя сторонами целостности являются:

- свойства системы (целого) Q_s не являются суммой свойств элементов (частей):

$$q_i: Q_s \neq \sum_{i=1}^n q_i.$$

- свойства системы (целого) зависят от свойств элементов (частей): $Q_s = f(q_1, \dots, q_n)$

Физическая аддитивность (или делимость) – рассмотрение целостного объекта как состоящего из частей.

Это двойственная к целостности закономерность: $Q_s = \sum_{i=1}^n q_i$.

Любая система находится всегда между крайними состояниями абсолютной целостности и абсолютной аддитивности,

2. **Изолированность** – совокупность объектов, образующих систему, и связи между ними можно ограничить от их окружения и рассматривать изолированно.

3. **Коммуникативность** – система не изолирована от других систем, а связана множеством коммуникаций со средой, представляющей собой сложное и неоднородное образование, содержащее подсистему (одного уровня с рассматриваемой), задающую требования и ограничения исследуемой системе.

4. **Идентифицируемость** – Каждая составная часть системы (элемент) может быть отделена от других составляющих, то есть идентифицирована.

5. **Множественность** – Каждый элемент системы обладает собственным поведением и состоянием, отличным от поведения и состояния других элементов и системы в целом.

6. **Наблюдаемость** – Все без исключения входы и выходы системы либо контролируются наблюдателем, либо наблюдаемы.

7. **Неопределенность** – Наблюдатель не может одновременно фиксировать все свойства и отношения элементов системы и именно с целью их выявления осуществляет исследование.

8. **Отображаемость** – Язык наблюдателя имеет достаточно общих элементов с естественным языком исследуемого объекта, чтобы отобразить все те свойства и отношения, которые нужны для решения задачи.

9. Нетождественность отображения – Знаковая система наблюдателя отлична от знаковой системы проявления свойств объектов и их отношений, система строится с помощью перекодирования в новую знаковую систему; неизбежная при этом потеря информации определяет нетождественность системы исследуемому объекту.

10. Иерархичность – заключается в том, что более высокий иерархический уровень оказывает направляющее воздействие на нижележащий уровень, подчиненный ему.

11. Эквифинальность (потенциальная эффективность) – характеризует предельные возможности систем. Применительно к открытой системе – это ее способность достигать не зависящего от времени состояния, которое не зависит от ее исходных условий и определяется исключительно параметрами системы.

12. Закон «необходимого разнообразия» – разнообразие управляющей системы должно быть больше (или, по крайней мере, равно) разнообразию управляемого процесса или объекта. Создавая систему, способную справиться с решением проблемы, обладающей определенным известным разнообразием, нужно обеспечить, чтобы система имела еще большее разнообразие, чем разнообразие решаемой проблемы, или была бы способна создать в себе это разнообразие.

13. Историчность – Любая система не может быть неизменной, она не только функционирует, но и развивается.

14. Закономерность самоорганизации – Во всех явлениях, в том числе и в развивающихся системах имеет место дуализм. С одной стороны, справедлив второй закон термодинамики, то есть стремление к возрастанию энтропии, к распаду, дифференциации, а с другой стороны, наблюдаются негэнтропийные тенденции, лежащие в основе эволюции, развития.

Классификация методов системного анализа

Методы перевода вербального (словесного) описания в формальное делятся на 2 класса

- методы формализованного представления систем;
- методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов, называемые экспертными методами системного анализа.

Модели и методики, возникающие как результат попеременного использования методов из обоих классов, можно выделить в самостоятельную группу методов постепенной формализации задач принятия решений.

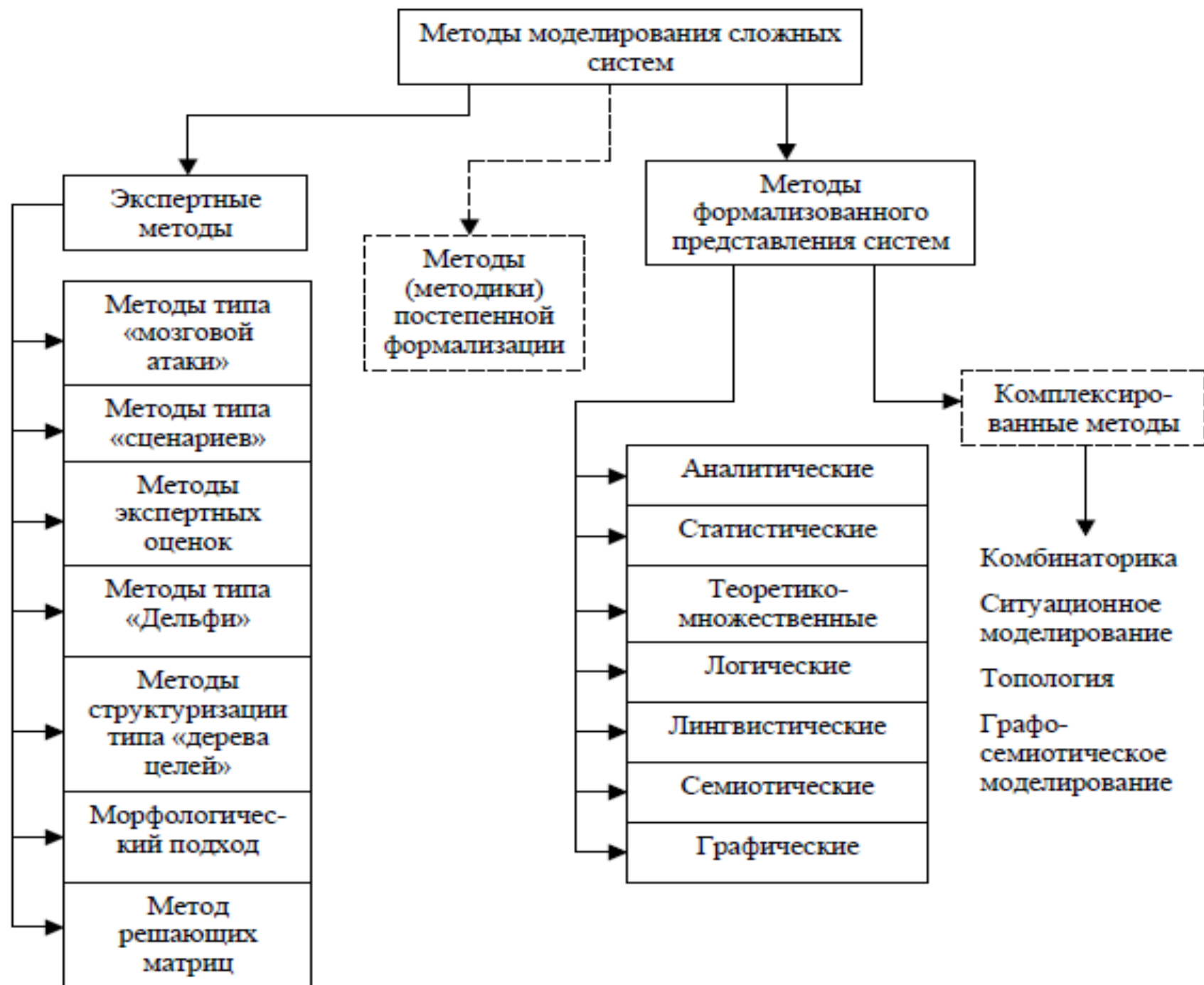
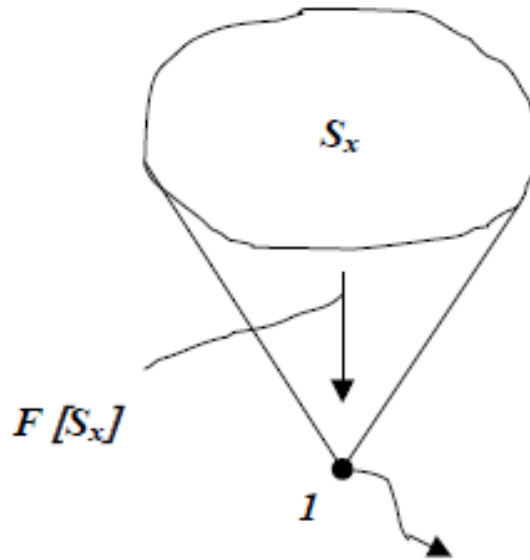


Рис. – Классификация методов системного анализа

Методы формализованного представления систем

Аналитические методы – в которых ряд свойств многомерной, многосвязной системы отображается в n -мерном пространстве одной единственной точкой, совершающей какое-то движение



Это отображение осуществляется либо с помощью функции $f[S_x]$, либо посредством оператора (функционала) $F[S_x]$. Поведение точек и их взаимодействие описывается аналитическими закономерностями.

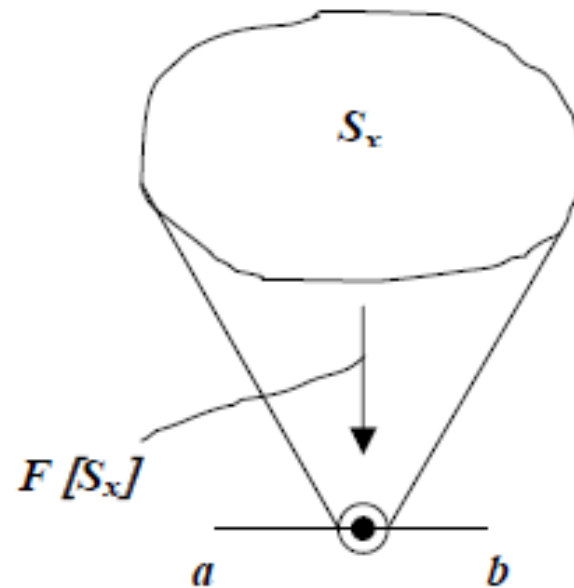
Аналитические методы **применяются** в тех случаях, когда свойства системы можно отобразить с помощью детерминированных величин или процессов, то есть знания о процессах и событиях в некотором интервале времени позволяют полностью определить поведение их вне этого интервала.

Эти методы используются при решении задач движения и устойчивости, оптимального размещения, распределения работ и ресурсов, выбора наилучшего пути, оптимальной стратегии поведения в конфликтных ситуациях и т.п.

Статистические методы.

В тех случаях, когда не удастся представить систему на основе детерминированных категорий, можно применить отображение ее с помощью случайных (стохастических) событий, процессов, которые описываются соответствующими вероятностными характеристиками и статистическими закономерностями.

Статистическое отображение системы можно представить в виде «размытой» точки (области) в n -мерном пространстве, в которую переводит систему (ее учитываемые свойства) оператор $F [S_x]$

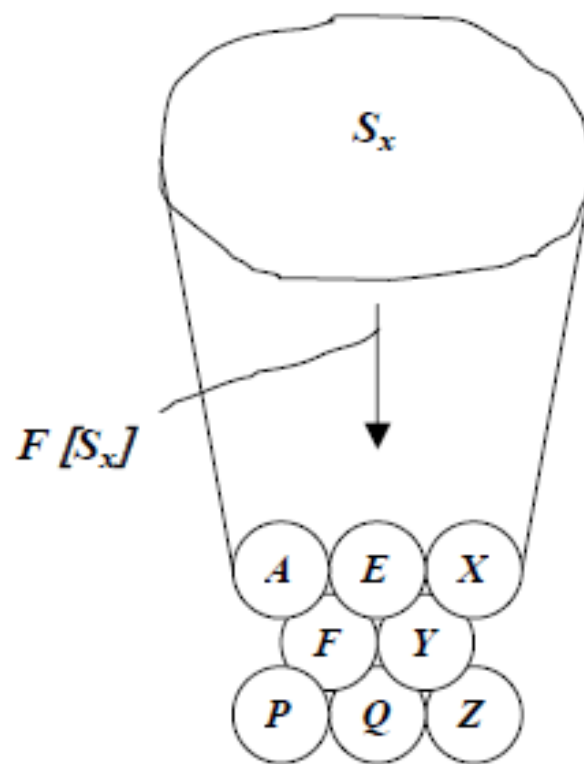


Статистические отображения позволили расширить **области применения** ряда дисциплин, возникших на базе аналитических представлений.

Так возникли статистическая теория распознавания образов, стохастическое программирование, новые разделы теории игр и др.

На базе статистических представлений возникли и развиваются такие прикладные направления, как *теория массового обслуживания, теория статистического анализа и др.*

Теоретико-множественные представления базируются на понятиях:
множество, элементы множества и отношения на множествах.
Сложную систему можно отобразить в виде совокупности разнородных множеств и
отношений между ними



Например, система S может быть отображена в совокупность множеств, описываемую теоретико-множественной формулой:

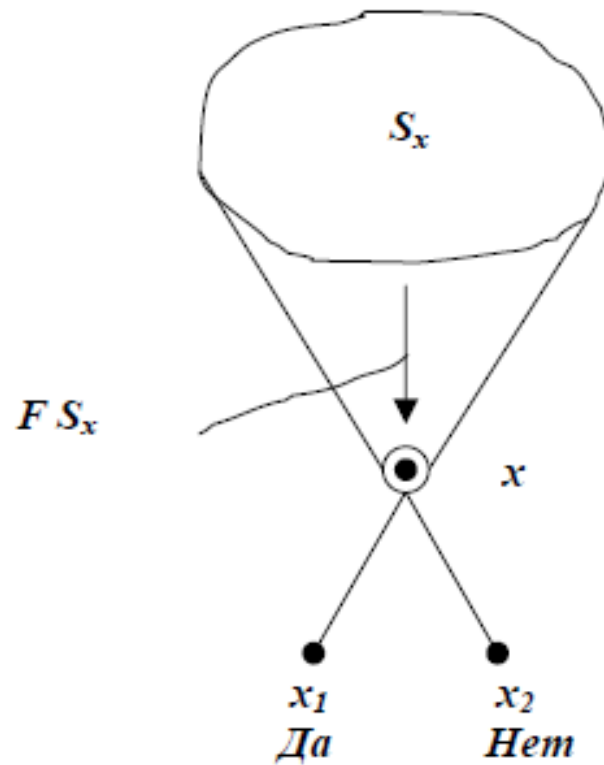
$$S = \langle I, C, A, P, E, U, X, W, Z \rangle,$$

где $I = \{i\}$ – совокупность (вектор) входных информационных сигналов;
 $C = \{c\}$ – множество состояний (ситуаций) системы;
 $A = \{a\}$ – множество выходных действий (актуаций) системы;
 $P = \{p\}$ – множество вероятностей p изменения состояний;
 $E = \{e\}$ – множество элементов, из которых составлена данная система;
 $U = \{u\}$ – множество отношений между элементами E системы;
...

Благодаря тому, что при теоретико-множественных представлениях систем и процессов в них можно вводить любые отношения, эти представления:

- служат хорошим языком, с помощью которого облегчается взаимопонимание между представителями различных областей знаний;
- могут являться основой для возникновения новых научных направлений, для создания языков моделирования, языков автоматизации проектирования.

Логические отображения являются частным случаем теоретико-множественных отображений. Они переводят реальную систему и отношения в ней на язык одной из алгебр логики (двузначной, многозначной), основанных на применении алгебраических методов для выражения законов формальной логики

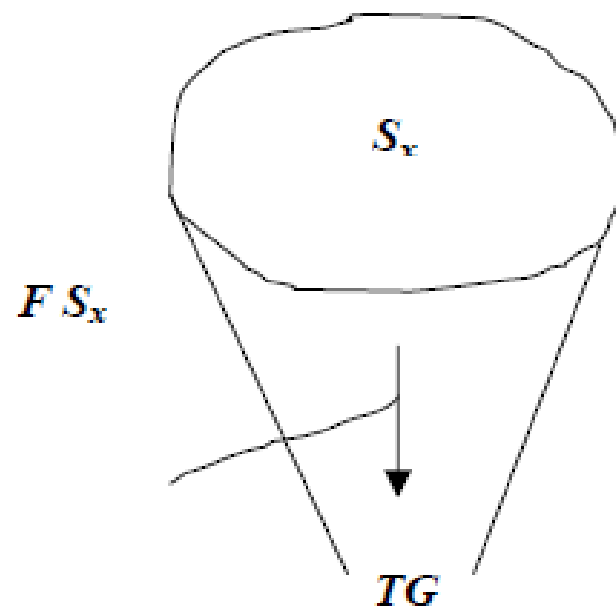


Алгебра логики оперирует понятиями: высказывание, предикат, логические операции (логические функции, кванторы).

Логические методы **применяются** при исследовании новых структур систем разнообразной природы (технических объектов, текстов и др.), в которых характер взаимодействия между элементами еще не настолько ясен, чтобы было возможно их представление аналитическими методами, а статистические исследования либо затруднены, либо не привели к выявлению устойчивых закономерностей.

Логические представления нашли широкое практическое применение при *исследовании и разработке автоматов разного рода, автоматических систем контроля*, а также при решении задач распознавания образов. Логические представления лежат в основе *теории автоматов*. На их базе развиваются прикладные разделы *теории формальных языков*.

Лингвистические представления базируются на понятиях **тезауруса** T (множество смысловыражающих элементов языка с заданными смысловыми отношениями; тезаурус характеризует структуру языка), **грамматики** G (правила образования смысловыражающих элементов разных уровней тезауруса), **семиотики** (смысловое содержание формируемых фраз, предложений и других смысловыражающих элементов) и **прагматики** (смысл для данной задачи, цели).

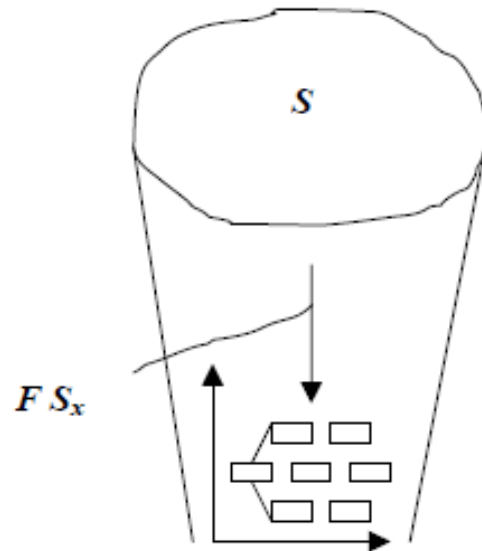


Семиотические представления основываются на понятиях: знак, знаковая система, знаковая ситуация.

Лингвистические и семиотические представления возникли и развиваются в связи с потребностями анализа текстов и языков. Являются удобным аппаратом (особенно в сочетании с графическими представлениями) для первого этапа постепенной формализации задач принятия решений в плохо формализуемых ситуациях, чем и был вызван возрастающий интерес к этим методам со стороны разработчиков сложных систем.

На их основе разрабатывают *языки моделирования, автоматизации проектирования и т.д.*

К графическим представлениям относятся любые графики (графики Ганта, диаграммы, гистограммы и т.п.) и возникшие на основе графических отображений теории (теория графов, теория сетевого планирования и управления и т.п.), то есть все то, что позволяет наглядно представить процессы, происходящие в системах, и облегчить таким образом их анализ для человека (лица, принимающего решения).



Графические представления являются удобным средством исследования структур и процессов в сложных системах и решения различного рода организационных вопросов в информационно-управляющих комплексах, в которых необходимо взаимодействие человека и технических устройств (в том числе – ЭВМ).

Экспертные методы системного анализа

Методы типа «мозговой атаки»

При проведении **МОЗГОВОЙ атаки** или сессий коллективной генерации идей, участники стараются выполнить определенные правила, суть которых сводится к тому, чтобы обеспечить как можно большую свободу мышления участников коллективной генерации идей и высказывания ими новых идей. Для этого рекомендуется приветствовать любые идеи, даже если они вначале кажутся сомнительными или абсурдными (обсуждение и оценка идей проводится позднее).

В зависимости от принятых правил и жесткости их выполнения различают прямую мозговую атаку, метод обмена мнениями, обратную мозговую атаку (когда одна группа вносит как можно больше предложений, а вторая старается их максимально критиковать).

Метод прямой мозговой атаки

- включает в себя следующее
- *Формулировка задачи.* Что в итоге желательно получить или иметь; что мешает получению желаемого
 - *Формирование творческой группы.* 5-12 человек.
 - участники сеанса мозговой атаки
 - руководитель (ведущий) в сеансе
 - *Организация проведения мозговой атаки.* Продолжительность совещания составляет 1,5-2 часа.
 - представление участников совещания друг другу и ознакомление их с правилами проведения сеанса мозговой атаки (5-10 минут);
 - постановка задачи ведущим с ответами на вопросы участников (10-15 минут);
 - проведение мозговой атаки (20-30 минут);
 - перерыв (10 минут);
 - составление отредактированного списка идей (30-45 минут).
 - *Запись и оформление результатов* мозговой атаки. Все полученные идеи желательно разделить на три группы: наиболее приемлемые и легко реализуемые для решаемой задачи; наиболее эффективные и перспективные; прочие.
- Отредактированный и оформленный список передается заинтересованным лицам для дальнейшей более детальной оценки и проработки.

Методы типа «сценариев»

Это методы подготовки и согласования представлений о проблеме или анализируемом объекте, изложенных в письменном виде.

Сценарием называют преимущественно качественное описание возможных вариантов развития исследуемого объекта при различных сочетаниях определенных, заранее выделенных условий.

Сценарий предусматривает не только содержательные рассуждения, помогающие не упустить детали, которые невозможно учесть в формальной модели (в этом заключается основная роль сценария), но и содержит результаты количественного технико-экономического или статистического анализа с предварительными выводами.

Метод сценариев является средством первичного упорядочения проблемы, получения и сбора информации о взаимосвязях решаемой проблемы с другими и о возможных и вероятных направлениях будущего развития.

На практике по типу сценариев, например, разрабатываются прогнозы в отраслях промышленности.

Методы экспертных оценок

Предполагает, что неизвестная характеристика исследуемого явления трактуется как случайная величина, отражением закона распределения которой является индивидуальная оценка специалиста-эксперта о достоверности и значимости того или иного события. При этом истинное значение исследуемой характеристики находится внутри диапазона оценок, получаемых от группы экспертов и что обобщенное коллективное мнение является достоверным.

Используются для решения двух классов проблем:

- проблемы, которые достаточно хорошо обеспечены информацией и для которых можно использовать принцип «хорошего измерителя», считая эксперта хранителем большого объема информации, а групповое мнение экспертов – близким к истине. Это задачи по формированию целей, совершенствованию методов и форм управления.
- проблемы, в отношении которых знаний для уверенности в справедливости названных предположений недостаточно. Здесь экспертов нельзя рассматривать как «хороших измерителей», и необходимо осторожно подходить к обработке результатов экспертизы. Решения по разработке прогнозов и перспективных планов

Методы типа «Дельфи»

предложен американским исследователем О.Хелмером как итеративная процедура при проведении мозговой атаки, которая способствовала бы снижению влияния психологических факторов при проведении заседаний и повышения объективности результатов.

В отличие от метода сценариев, метод «Дельфи» предполагает предварительное ознакомление привлекаемых экспертов с ситуацией с помощью какой-либо модели, например, эконометрической модели развития экономики или неформального описания процесса в виде сценария.

Основными средствами повышения объективности результатов при применении метода «Дельфи» являются:

- использование обратной связи;
- ознакомление экспертов с результатами предшествующего тура опроса;
- учет результатов предшествующего опроса при оценке значимости мнений экспертов;
- наличие итераций.

Методы типа «дерева целей»

предложена американским исследователем У.Черчменом.

Дерево целей представляет собой связный граф, вершины которого интерпретируются как цели, а ребра или дуги – как связи между целями.

Основным требованием к дереву целей является отсутствие циклов.

Основным правилом разукрупнения целей является полнота: каждая цель верхнего уровня должна быть представлена в виде подцелей следующего уровня исчерпывающим образом, то есть так, чтобы объединение понятий подцелей полностью определяло понятие исходной цели.

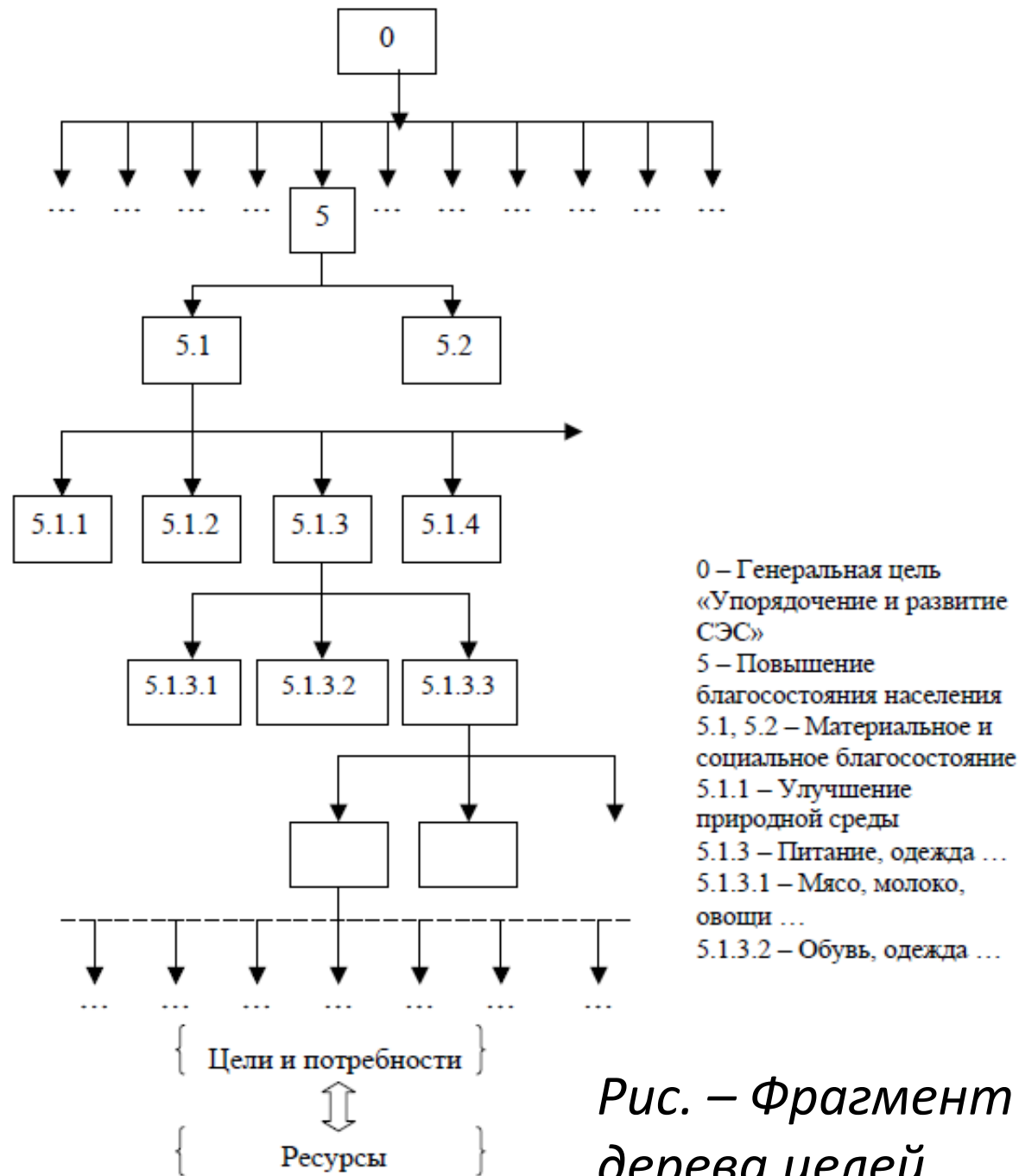


Рис. – Фрагмент дерева целей

Морфологические методы

разработан в 1930-х годах швейцарским астрономом Ф.Цвикки для конструирования астрономических приборов.

Морфологический подход основан на комбинаторике. Его основная идея – систематически находить наибольшее число, а в пределе – все возможные варианты решения поставленной проблемы или реализации системы путем комбинирования основных (выделенных исследователем) структурных элементов системы или их признаков.

Способы морфологического моделирования:

- *метод систематического покрытия поля (МСПП)*; предполагает, что существует некоторое число так называемых «опорных пунктов» знания в любой исследуемой области. Этими пунктами могут быть теоретические положения, эмпирические факты, открытые законы и т.д. Исходя из ограниченного числа опорных пунктов знания и принципов мышления, ищут все возможные решения поставленной проблемы.

- *метод отрицания и конструирования (МОК)*; разбивается на три этапа:
 - 1) формирование ряда высказываний (положений, утверждений, аксиом), соответствующих современному уровню развития исследуемой области знаний;
 - 2) замена одного, нескольких или всех сформулированных высказываний на противоположные;
 - 3) построение всевозможных следствий, вытекающих из такого отрицания и проверка непротиворечивости вновь полученных и оставшихся неизменными высказываний.
- *метод морфологического ящика (ММЯ)*; состоит в определении всех возможных параметров, от которых может зависеть решение проблемы, и представления их в виде матриц-строк, а затем в определении в этой морфологической матрице-ящике всех возможных сочетаний параметров по одному из каждой строки. Полученные варианты решений подвергаются оценке и анализу с целью выбора наилучшего.

Построение и исследование по ММЯ проводится в пять этапов:

- 1) Точная формулировка поставленной проблемы.
- 2) Определение параметров (классификационных признаков) P_i , от которых зависит решение проблемы
- 3) Деление параметров P_i на их значения $P_i^{k_i}$ и представление их в виде матриц-строк

$$\left[\underline{P_1^1}, P_1^2, \dots, P_1^{k_1} \right]$$

где k_i – число значений i -го параметра.

$$\left[P_2^1, \underline{P_2^2}, \dots, P_2^{k_2} \right]$$

Набор значений (по одному из каждой строки) различных параметров представляет собой возможный вариант решения моделируемой задачи, например, вариант

$$\left[\dots \right. \\ \left. \underline{P_n^1}, \underline{P_n^2}, \dots, P_n^{k_n} \right],$$

$$\langle P_1^1, P_2^2, \dots, P_n^2 \rangle$$

- 4) Оценка всех имеющихся в морфологическом ящике вариантов.
 - 5) Выбор из морфологического ящика оптимального варианта решения задачи.
- С математической точки зрения идея морфологического перебора базируется на получении размещений с повторением из k по n . Для сокращения перебора этапы 3 и 4 могут быть совмещены, и явно неприемлемые варианты можно сразу исключить из рассмотрения в п.5.

Пример: расчленение проблемы на подпроблемы (или задачи на подзадачи) и последовательное применение нескольких критериев для выбора по одному варианту решения каждой из подпроблем (подзадач), которые вместе взятые и составляют искомое решение

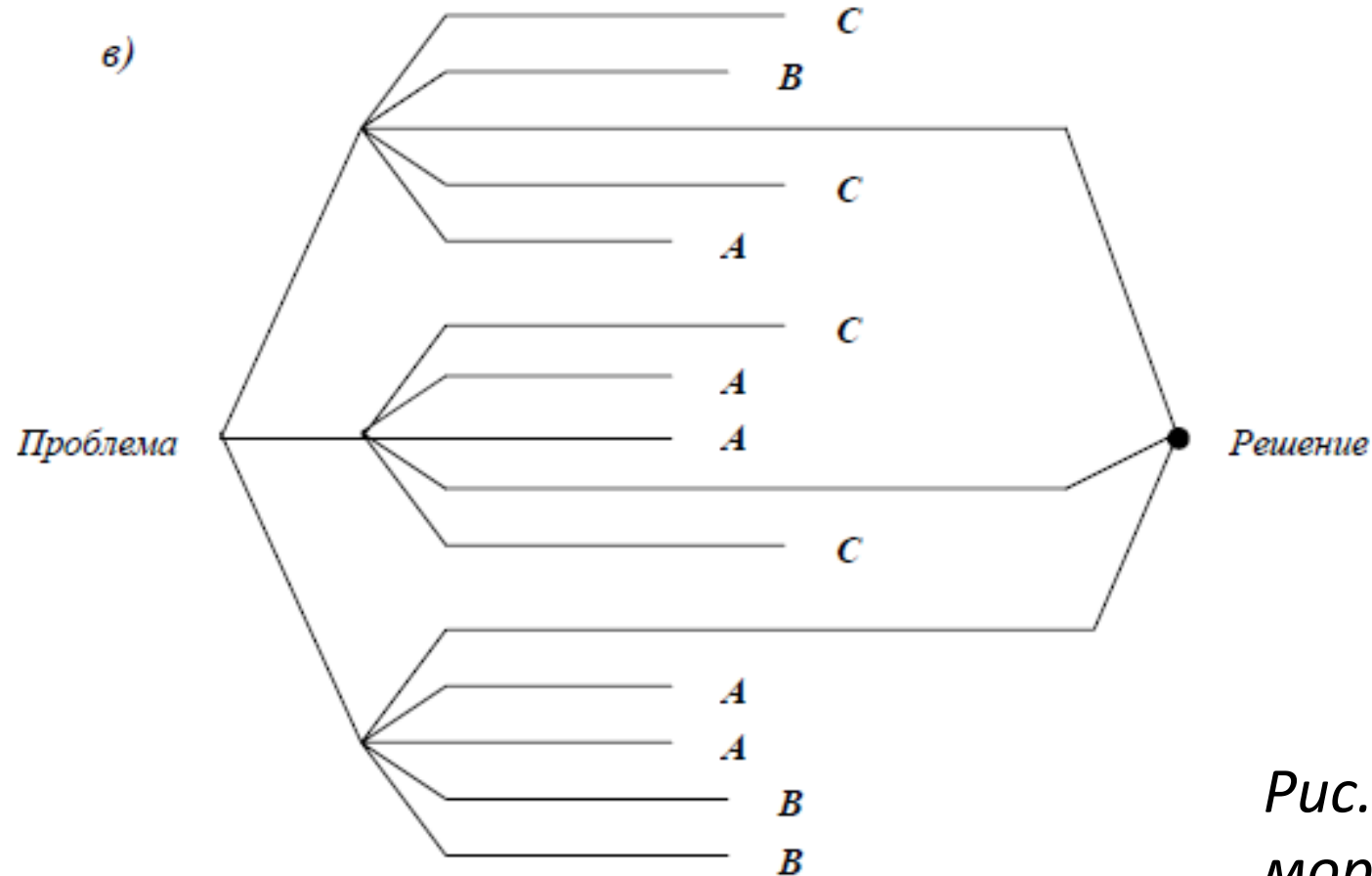


Рис. – Пути выбора решений из морфологического ящика

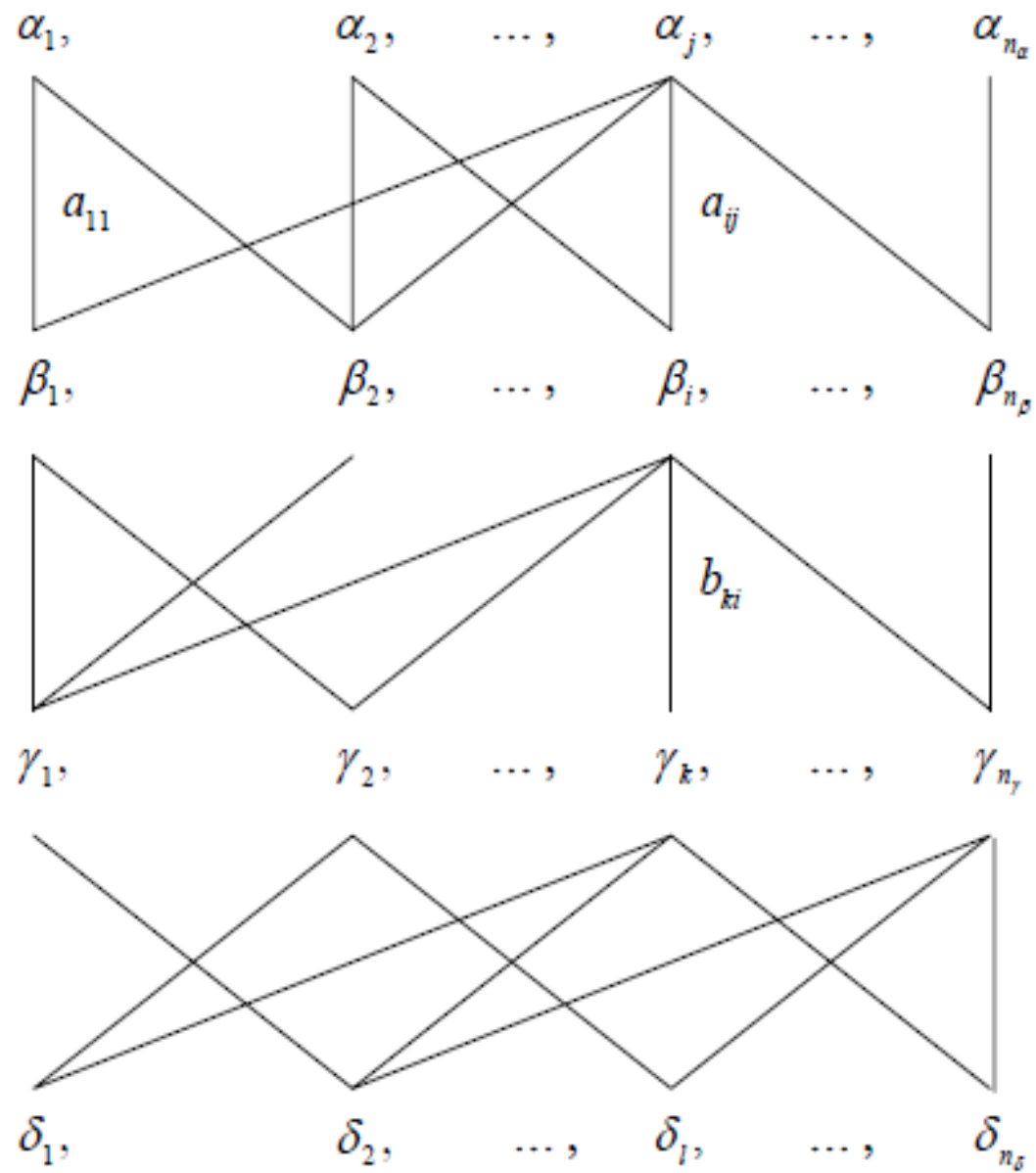
Метод решающих матриц

предложен Г.С.Поспеловым как средство повышения достоверности экспертной оценки путем разделения проблемы с большой неопределенностью на подпроблемы и пошагового получения оценок.

Например, при создании сложных производственных комплексов, автоматизированных систем управления и других сложных объектов нужно определить влияние на проектируемый объект фундаментальных научно-исследовательских работ (НИР), чтобы запланировать эти работы, предусмотреть их финансирование и распределить средства между ними.

Решение

1. Определение весов направлений исследования $\alpha_1, \dots, \alpha_n$.
2. Оценить их вклад β_1, \dots, β_n
3. Определение весов направлений исследования $\alpha_1, \dots, \alpha_n$.
4. Определение прикладных научных исследований и относительные веса прикладных НИР $\gamma_1, \dots, \gamma_n$.
5. Оценить влияние фундаментальных НИР $\delta_1, \dots, \delta_n$ на прикладные



Относительные веса по всем уровням должны быть нормированы.

$$\sum_{j=1}^{n_\alpha} \alpha_j = 100$$

Рис. – Уровни работы экспертов

Только вклад направлений (подцелей) в реализацию общей цели проекта оценивается экспертами непосредственно. Остальные относительные веса (ОКР, прикладных НИР) вычисляются.

Так, вклад опытно-конструкторской работы β_i в реализацию подцели (направления) α_i оценивается некоторой величиной a_{ij} .

Используя решающую матрицу $\| \alpha_{ij} \|$, можно определить относительные веса ОКР:

$$\beta_i = \sum_{j=1}^{n_\alpha} a_{ij} \alpha_j .$$

Аналогично, зная β_i и оценив $\| b_{ki} \|$, можно получить относительные веса прикладных НИР γ_k , а затем и фундаментальных исследований δ_l .

В результате при использовании метода решающих матриц оценка относительной важности сложной альтернативы сводится к последовательности оценок более частных альтернатив, которые эксперт способен осуществить.

Другие экспертные методы

- **Диагностические** методы представляют собой достаточно хорошо отработанные приемы массового обследования предприятий и органов управления с целью усовершенствования форм и методов их работы.
- **Сетевые методы** и их модификации используются в системном анализе главным образом на этапе построения комплексных программ развития. Более сложные многомерные сети используются для распределения сфер ответственности, распределения работ по конкретным исполнителям в организациях, ориентированных на цель.
- **матричные формы** представления и анализа информации
- **методы экономического анализа.**
- **кибернетические модели.** В этих моделях могут использоваться самые различные выразительные средства: схемы, блок-схемы, таблицы, диаграммы.
- **Экономико-математические модели** бывают двух типов: описательные (модели отраслевых, межотраслевых и межрегиональных балансов типа «затрат-выпуска») и операционные (оптимизационные, имитационные, игровые).