

Чернов Владимир Георгиевич

# Компьютерные системы поддержки принятия решений

- Литература.
- Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике.-М.: Финансы и кредит,2000.-368с. ISBN 5-279-02188-1.
- Саати Т. Принятие решений . Метод анализа иерархий: Пер с англ.- М.: Радио исвязь, 1989.-316с.
- Бир С. Мозг фирмы: Пер. с англ.-М.: Радио и связь,1993.-416с.
- Ильченко А.Н. Экономико-математические методы: Учеб. пособие.-М.: Финансы и статистика,2006.-288с.,ISBN 5-279-03068-6.
- Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений.- М.: Синтег,1998.-376с., ISBN 5-89638-003-8.
- Чернов В.Г Основы теории нечетких множеств. Решение задач многокритериального выбора альтернатив: учеб. пособие. - Владимир: Изд-во Владим, гос. ун-т,2005.-106с., ISBN 5-89368-612-8.
- Чернов В.г. Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств.-М.: Горячая линия.-Телеком, 2007.-321с., , ISBN 978-5-93517-353-0.
- Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка формирования целей и стратегий-М.:Синтег,2005.-224с.,ISBN 5-89638-084-4.

- «Заглядывай вперед или окажешься позади»  
Бенджамин Франклин
- «Тот, кто не закладывает фундамент изначально, может огромными усилиями сделать это потом... Но с большой сложностью для архитектора и опасностью для строения» Николло Макиавелли (1469-1527)
  
- «Планировать- это хлопотать по поводу наилучшего метода получения случайного результата»  
Амброз Бирс
  
- «Человека, который преуспел в руководстве, но не искушен в выполнении трех интеллектуальных функций управления (формирование политики, принятие решений и контроль), можно сравнить с циркачом на одноколесном велосипеде – он демонстрирует виртуозные трюки во время представления, но мальчик посыльный на обычном велосипеде движется более устойчиво и перевозит полезный груз» Стаффорд Бир

- Планирование – это проектирование желаемого будущего и эффективных путей его достижения.
- Это орудие мудрых, но не одних только их.
- В руках же мелких людей оно часто превращается в бесполезный ритуал, который порождает кратковременную успокоенность, а не творит будущее, к которому стремятся.
- Лучшие образцы планирования являются в такой же степени творениями искусства, как и науки. Здесь, как нигде, важно их гармоническое сочетание.»

- Р.Л. Акофф

- «Корпорация-хитроумное изобретение для получения личной выгоды без личной ответственности»
- Амброз Бирс «Словарь сатаны»-м.:1966
- « Решить- смириться с перевесом одних внешних влияний над другими»
- «Деньги-это благо, которому не придаешь значения, пока не расстанешься с ними»
- Амброз Бирс

- Развитие вычислительной техники в последние годы привело к появлению таких мощных инструментальных средств автоматизированного управления предприятиями, как, например, Ахарта, Concord, SAP R/3, SIMIX, Галактика, ТБ-Корпорация и ряда других, появились стандарты управления, ERP и CSRP, охватывающие не только производственный и логистический уровни, но и все фазы жизненного цикла продукции. Подобные корпоративные информационные системы (КИС), основанные на современных технологиях работы с данными (Data Mining, OLAP, многомерные кубы и т.п.), позволяют быстро получать выборки данных и отчеты практически в любых желаемых разрезах и ракурсах. Выбор же экономических решений в процессе управления современными предприятиями практически всюду остается прерогативой человека. Эти процедуры не переходят в разряд рутинных операций, они остаются больше искусством и выполняются менеджерами высокой квалификации; в противном случае управление часто становится не эффективным. Даже для крупных предприятий современные КИС обычно используются как «большие калькуляторы или электронные таблицы», позволяющие эффективно манипулировать значительными объемами данных, часто рассредоточенных на обширных территориях.

- Развитие средств обработки данных корпоративных информационных систем обычно не охватывает лиц, принимающих решения (ЛПР). ЛПР может быть как отдельным персональным субъектом, так и коллегиальным органом, выполняющим важнейшую функцию управления экономическими системами, —целеполагание. В результате на стыке КИС—ЛПР возникает противоречие между высокой скоростью обработки данных и слабой структуризацией технологии работы лица, принимающего решения. Здесь уместно вспомнить высказывание одного из авторитетных отечественных ученых в области моделирования сложных систем Н.Н. Моисеева : «Постепенно специалисты, стремящиеся внедрить в практику новые методы обработки информации, математические модели и электронную вычислительную технику, поняли, что дело не в математике. Без нее, разумеется, не обойдешься. Но главное- это именно целевые функции, т.е. ясное понимание целей, которые надо достичь. И именно здесь таятся основные трудности!»
- В настоящем курсе будут рассмотрены подходы к разрешению указанного противоречия, практические методы и алгоритмы, направленные на структуризацию и формализованное представление процедур выбора экономических решений в современных человеко-машинных системах управления.

- Традиционный подход применения моделей принятия решений ориентирован на крупные системы и на редкое или разовое их использование. Технология применения таких моделей, как правило, предполагалась «ручной», включающей три компонента:
- ***среда, генерирующая ситуацию, требующую принятия решения (СТПР);***
- ***оперирующая сторона, выбирающая наилучшее решение и несущая ответственность за последствия (ЛПР);***
- ***группа аналитиков (и/или консультантов), адекватно представляющих себе механизм, в котором оперирует ЛПР, его предпочтения. Эта группа строит модели, оценивает ситуацию и предлагает варианты решений, из которых лицо, принимающее решение, и делает свой выбор; т.е. аналитики должны построить модели, адекватные не только структурно, но и параметрически реальной ситуации, они активно участвуют в самой технологии выбора решений. При этом их действия также носят «ручной характер». Часто они отличаются от лица, принимающего решения, лишь мерой ответственности за принятые решения.***
- Трудно себе представить использование подобной технологии на среднем или малом предприятии в режиме, когда ежедневно надо принимать большое количество решений.

- В настоящее время все большее распространение начинает получать методология, сущность которой состоит в том, что по наблюдениям за решениями, принятыми ЛПР, настраиваются параметры той или иной модели принятия решений, т.е. решается обратная задача. Настроенная (по параметрам) модель может быть использована для решения прямой задачи в человеко-машинном или автоматическом режиме в корпоративных информационных системах. В рамках такого подхода от лица, принимающего решение, не требуется каких-либо специальных знаний из области многокритериальной оптимизации, ранжирования предпочтений, парных сравнений и т.п., оно оперирует только привычными для него понятиями принимаемых решений. Данная технология позволяет аккумулировать опыт ЛПР в принятии решений в соответствующей сфере в форме настроенных моделей исследования операций, которые могут быть использованы в КИС по-разному — для фильтрации данных, предъявляемых этому же ЛПР, другими ЛПР, в автоматическом режиме выбора решений, вышестоящими лицами, принимающими решение, для мониторинга текущих предпочтений действующего ЛПР, для обучения других ЛПР и т.п. Настроенная по наблюдениям модель фактически является аппроксимацией реальных предпочтений ЛПР.

- Предлагаемая технология состоит из следующих компонентов:
- 1) ***КИС предприятия, генерирующая СТТР на основании текущей обработки данных;***
- 2) ***оперирующая сторона (ЛПР);***
- 3) ***разработчики, устанавливающие программные варианты моделей в КИС и обеспечивающие удобный интерфейс для работы ЛПР и возможность адаптации моделей ИО к системе его предпочтений.***
- Они не «встраиваются» в цепочку принятия решений и оставляют ЛПР «один на один» с объектом управления. При этом «советчиком» становится не группа аналитиков, а модель, аккумулирующая опыт ЛПР. Таким образом, у КИС в явном виде появляется информационно-советующая функция.
- Эта методология позволяет использовать формализованную обратную связь в системах управления экономическими объектами.
- В рамках этого подхода используется термин «выбор решения», отражающий участие моделей (как элементов КИС) в поиске наилучшего решения. Термин «принятие решения» традиционно связан с психологическими свойствами человека делать выбор.



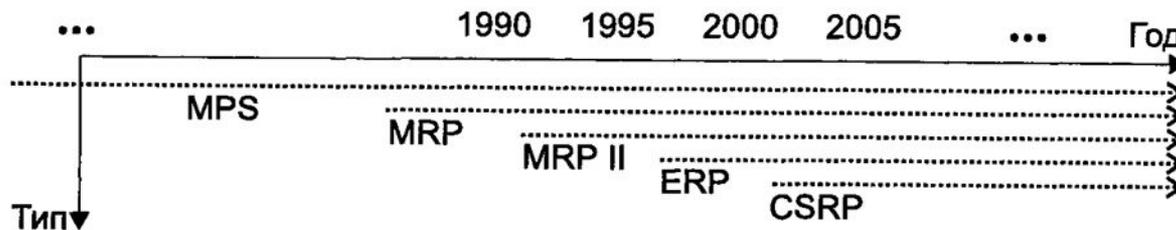
# 1. ПРОБЛЕМА

## АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

### 1.1. ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

- С момента появления первых электронных вычислительных машин (ЭВМ) возникла естественная потребность в использовании их для решения разнообразных задач планирования и управления на предприятиях [3, 8, 21]. Но поскольку технические возможности и производительность не позволяли включать ЭВМ в контур управления предприятием, то задачи носили статический характер и решались вне контура управления.
- Надо сказать, что разработка и применение стандартов управления предприятиями шли в ногу с ростом вычислительных мощностей компьютеров. Схематически динамика развития стандарда

1.1.



на рис.



Следующим этапом развития систем управления предприятиями стал стандарт CSRP (Customer synchronized resource planning — планирование ресурсов предприятия, ориентированное на потребителя), охватывающий почти весь жизненный цикл товара. Это особенно важно при управлении себестоимостью, поскольку в рамках CSRP можно учесть затраты на продвижение, производство и обслуживание товара, имея в виду все элементы его функционального жизненного цикла, а не только производства, как в других стандартах (рис. 1.2).

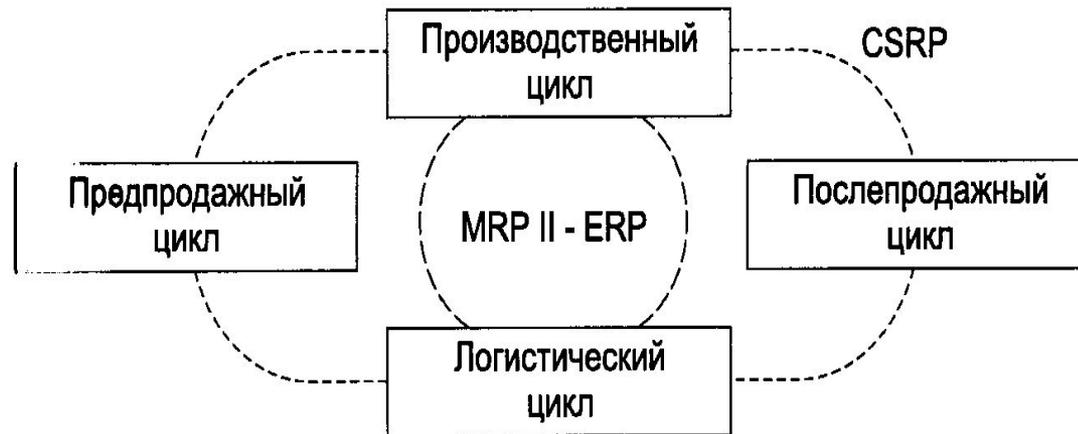


Рис. 1.2

Современные стандарты управления производством используют весь существующий на сегодня потенциал вычислительной техники для того, чтобы снять с человека рутинные учетно-расчетные операции, оставив за ним наименее формализованные на сегодня вопросы принятия управленческих и экономических решений.

Но даже с помощью самых совершенных систем управления невозможно построить план, который выполнялся бы в течение продолжительного интервала времени без каких-либо отклонений.

В реальной практике отклонения неизбежны, они вызваны и случайными изменениями во внешней среде, и активным противодействием конкурентов, и рядом других дестабилизирующих факторов. Принимать решения при всех подобных отклонениях остается основной функцией человека, выступающего в качестве менеджера, собственника, исполнителя и т.п. Однако и процедуры принятия решений в ряде случаев могут носить рутинный характер, а значит, и их желательно формализовать и переложить «на плечи» вычислительной техники.

# СХЕМА ВЫБОРА РЕШЕНИЙ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

## 1.2.1. Структура и основные элементы. Предпосылки

В практике управления предприятиями в явном или неявном виде используются некоторые процедуры, позволяющие на основе текущих данных принять и реализовать соответствующее решение. Большинство из ныне существующих подходов к автоматизации процессов управления на предприятии имеют в своей основе наборы бизнес-процессов, отражающих профильные направления работы предприятия [18]. На действующих предприятиях доли структурированных и неструктурированных процессов сильно варьируются от полного их отсутствия до практически полного их документирования и регламентации. *Формализованными* называют такие процедуры (алгоритмы) выбора решений, которые имеют вполне определенную структуру и могут быть частично или полностью реализованы на компьютере (в КИС предприятия). Эти процедуры, в свою очередь, могут быть либо структурированным набором простых операций, либо содержать некоторые математические модели или алгоритмы. Говоря о формализованных процедурах выбора решений, будем в основном иметь в виду процедуры, основанные на математических моделях.

Неформализованные процедуры не имеют четкой структуры и, как правило, целиком основываются на опыте ЛПР.

Если сравнивать эти два типа процедур, то достоинством вторых является возможность учитывать большое число факторов, а также нестационарность поведения объекта, его развитие и динамику.

Существенным недостатком неформализованных процедур выбора решений является то, что при большом потоке ситуаций, требующих принятия решений (СТПР), человек неспособен реализовать все достоинства этих процедур, и решения при этом часто обладают низким качеством.

Кроме того, неформализованные процедуры обычно персонифицированы и воспроизводимость их другими лицами с должным качеством затруднительна.

Эти обстоятельства на современном уровне развития методов и техники управления, казалось бы, однозначно говорят в пользу применения формализованных процедур выбора решений. Однако последние эффективно работают лишь в условиях выполнения определенных требований и предположений (предпосылок). Пренебрежение проверкой и обеспечением выполнения всех требований часто приводит на практике к существенному снижению надежности принимаемых решений, что, в свою очередь, приводит к дискредитации применяемых процедур, а часто и к отказу от каких-либо математических моделей в управлении [42].

Существует ряд общих предпосылок, важных для эффективного применения всех типов моделей выбора решений. Рассматриваемые модели имеют три важных элемента, определяющие эффективность их практического использования:

**-структура модели.** Например, модель линейного программирования с частично целочисленными переменными или байесовская модель выбора дискретных

решений

и т.п.;

**-параметры модели** — некоторые коэффициенты, принимающие конкретные числовые значения в соответствующих моделях, например, коэффициенты

целевой

функции в задаче линейного программирования и т.п.;

**-характеристики среды,** формирующей исходные данные в соответствующей

ситуации

для выбора решений с помощью той или иной модели.

Поскольку в большинстве практических случаев инструментарий использования формализованных моделей ориентирован на конкретный их тип, то к числу общих предпосылок отнесем следующие:

- модель остается структурно адекватной практической ситуации выбора решений;
- параметры модели адекватно отражают предпочтения ЛПР для соответствующего класса ситуаций выбора решений;
- предпочтения ЛПР, а значит, и параметры модели, остаются стационарными (т.е. не изменяются со временем) на протяжении всего времени использования модели;
- характеристики среды остаются стационарными на протяжении всего времени использования модели текущей структуры.

МОЖНО

предпринять действия, направленные на их компенсацию, что не приведет к существенному снижению эффективности.

Таким образом, для обеспечения должной эффективности формализованных процедур

выбора решений необходимо:

- систематически контролировать стационарность характеристик среды, предпочтений лица, принимающего решения, и структуры текущей модели;

- контролировать адекватность модели предпочтениям ЛПР.

К числу важных характеристик среды, генерирующей СТПР, относится типичность ситуаций.

Следует различать два класса СТПР:

- **нетиповые ситуации.** Их еще называют [31, 34, 59] уникальными или неповторяющимися. Для них нет возможности накопления представительной выборки, по которой можно было бы сделать вывод об эффективности решений.

Ситуации именно такого типа и послужили стимулом развития методов исследования

операции [3, 56, 59];

Существенное различие этих классов ситуаций заключается в следующем.

При построении модели выбора решений в первом классе ситуаций оперирующая

сторона (ЛПР) привлекает всю имеющуюся информацию о ситуации, поскольку неявно

предполагается, что степень полноты и достоверности информации является мерилем

надежности и эффективности принимаемого решения.

Информация о ситуации раскладывается на две составляющие: структура модели выбора

решений (игровая модель, модель математического программирования и т.п.),

Параметры модели выбора решения. В этом классе ситуаций до момента реализации

выбранного решения нельзя сказать, насколько оно «хорошее». Именно эти ситуации

имеют в виду, когда говорят:

«Исследование операций представляет собой искусство давать плохие ответы на те

практические вопросы, на которые даются еще худшие ответы другими способами»

[56].

**Ситуации второго класса** характерны тем, что многократное их повторение позволяет на основе учета степени эффективности реализованных ранее решений подстраивать структуру или(и) параметры модели выбора решений, добиваясь повышения эффективности будущих решений. Иными словами, в ситуациях второго типа возможно построение адаптивных моделей выбора решений.

Если не учитывать возможности подстройки модели выбора решения во второй ситуации, то многократное повторение одинаково малоэффективных решений приводит к тому, что ЛПР перестает доверять модели и пользоваться ею в дальнейшем.

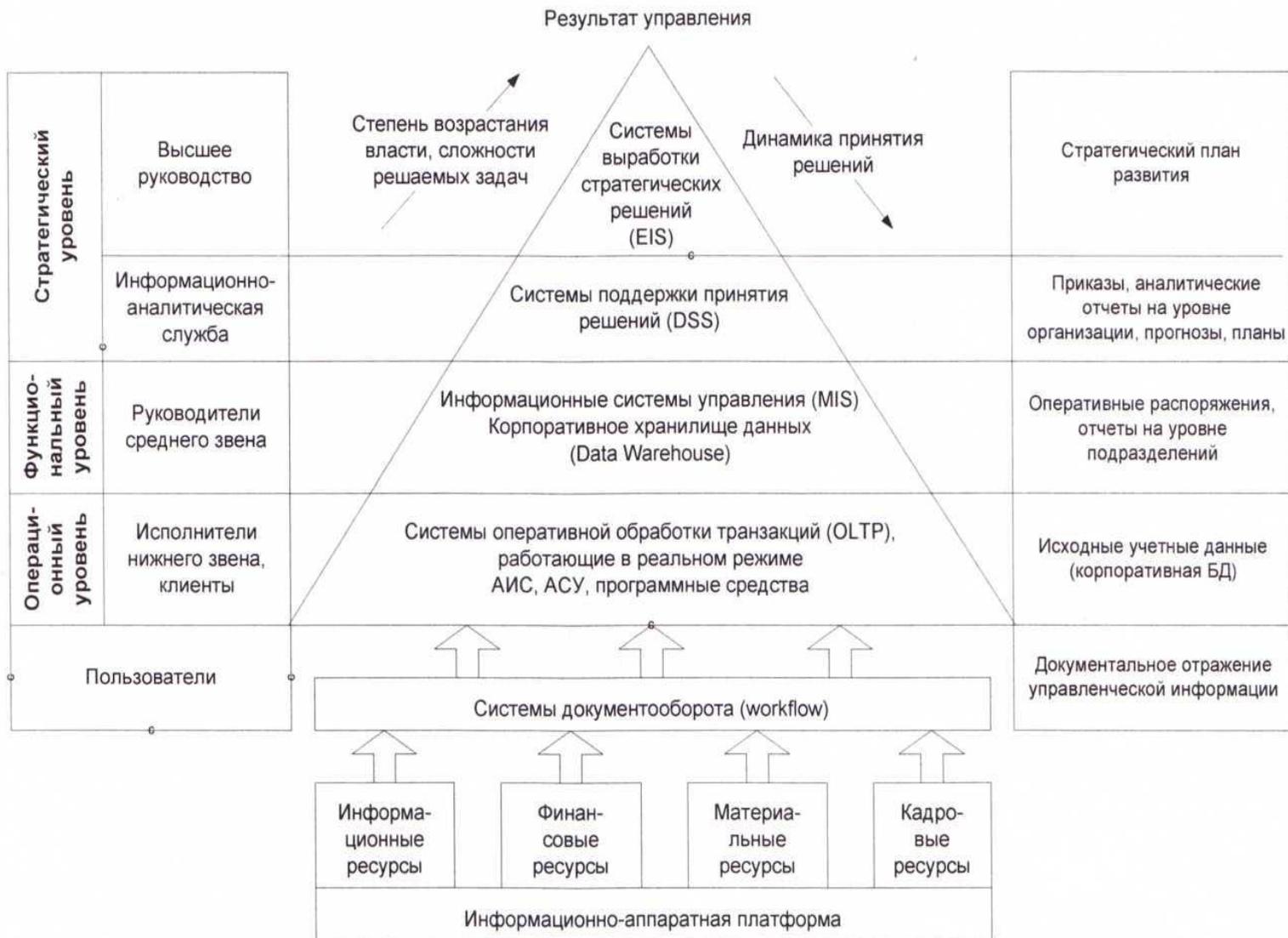
## Принципы выбора решений

Формализованные процедуры выбора решений, будучи реализованными в составе КИС, являются элементом системы (подсистемы, блока, модуля) автоматизированного принятия решений, которые в настоящее время обычно называют системами поддержки принятия решений (СППР) по аналогии с англоязычным DSS (Decision Support System).

Исходя из изложенного ранее СППР должна обеспечить достижение следующих целей:

- повышение быстродействия системы управления, т.е. уменьшение продолжительности цикла управления (принятия решения). При этом, очевидно, должны повыситься как пропускная способность ЛПР, так и интенсивность обмена и обработки информации в системе в целом;
- повышение надежности принимаемых решений;
- повышение гибкости системы управления, т.е. способности развиваться и отрабатывать воздействие внешних факторов (нестационарность, замены ЛПР, и т.п.).

Понятно, что эти цели в конкретных приложениях могут быть противоречивы, однако, они отражают те направления движения, которые будем иметь в виду при конструировании процедур и алгоритмов автоматизированного выбора решений.



Для достижения этих целей модели выбора решений должны удовлетворять ряду принципов. Упорядочим их по группам, соответствующим указанным целям:

### **I Принципы развития системы моделей выбора решений.**

- **Открытость системы моделей.** Этот принцип означает, что организация системы должна позволять добавлять в нее новые модели выбора решений.
- **Адаптивность моделей.** Структура моделей должна позволять производить их подстройку по мере поступления новых наблюдений и при воздействии внешних (по отношению модели) факторов.
- **Вариабельность множества альтернатив в моделях принятия решений.** Этот принцип требует от моделей возможностей уменьшения или увеличения количества альтернатив.

### **II. Принципы повышения надежности принимаемых решений.**

- **Многовариантность моделей** выбора альтернатив. Этот принцип предполагает параллельное применение нескольких моделей для выбора из совокупности альтернатив. При этом все параллельно работающие модели должны опираться на общую для всех информацию.
- **Гарантированный минимальный уровень надежности принимаемых решений.** Формальная часть процедур выбора решений должна обеспечивать надежность решений не ниже некоторого порогового значения, например в случае низкой квалификации или слабой информированности ЛПР, а также при допущении им грубых ошибок.

### **III. Принципы увеличения быстродействия контура управления.**

**1. Автоматизация сбора и обработки информации,** необходимой для функционирования моделей выбора решений. Это означает, что выбор конкретной модели должен приводить к включению механизмов автоматического поиска, сбора и обработки всех доступных и необходимых для функционирования модели данных.

#### ***2. Эффективный и дружественный интерфейс.***

Этот принцип предполагает разумный компромисс между полнотой и глубиной свертки данных, предъявляемых лицу, принимающему решения, чтобы обеспечить и эффективно использовать возможности как его, так и КИС. Кроме того, алгоритмы взаимодействия программных средств с ЛПР должны носить ненавязчивый и функционально привычный характер. Процедуры не должны требовать от ЛПР специальных знаний в области теории принятия решений или других специальных областей (он не обязан знать, что такое критерий, альтернатива и т.п.). Интерфейс процедур выбора решений должен быть построен так, чтобы оставлять лицо, принимающее решение, в его привычном функциональном пространстве.

Приведенная совокупность принципов относится как к индивидуальной, так и к коллективной форме процедур выбора решений.

## Структура процедур принятия решений

Многими авторами [3, 40, 42, 63] предприятие относится к категории сложных систем. Если укрупненно сложную систему представить в виде управляемого объекта (УО) и системы управления (СУ), то основным продуктом СУ (или КИС) являются решения, обеспечивающие требуемое качество функционирования системы в целом (рис. 1.5).

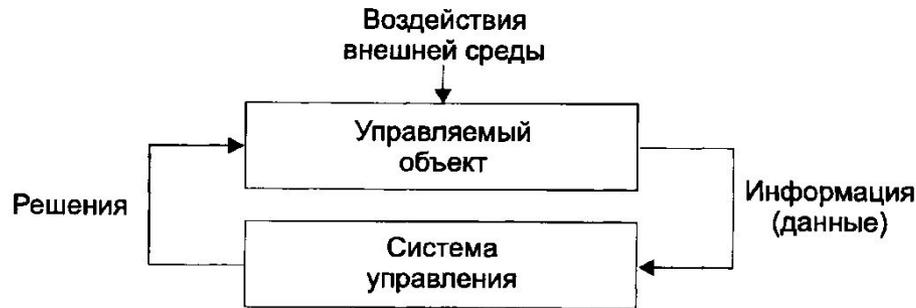
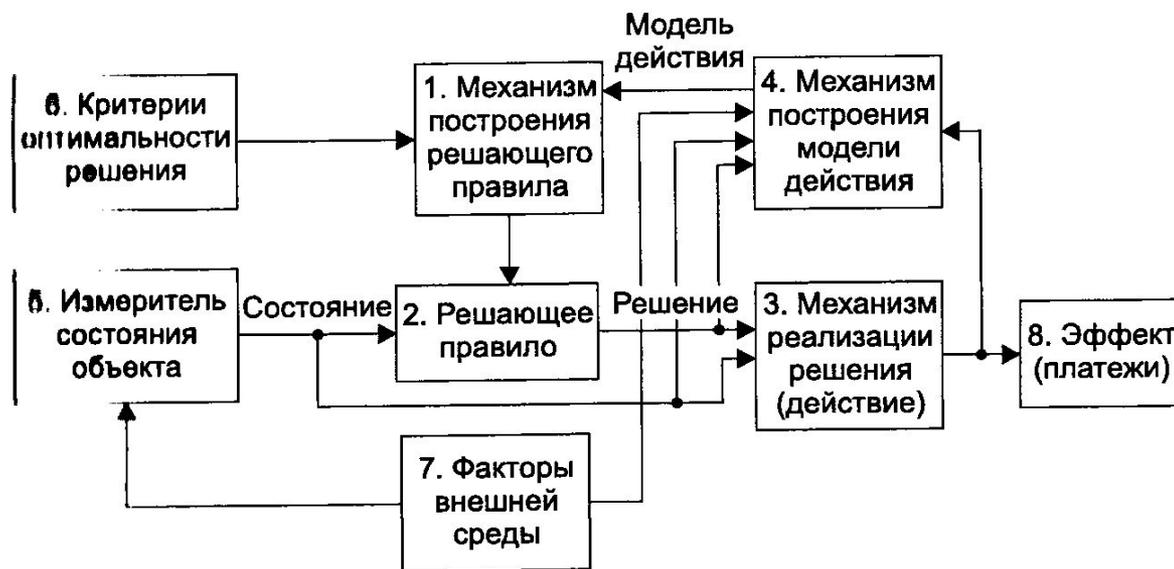


Рис. 1.5

Процесс выработки управляющих воздействий в «ручном» или автоматизированном варианте обычно [3, 66] состоит из ряда этапов, отражающих возможные цепочки действий.

- Выявление ситуации, требующей принятия решения (СТПР).
- Сбор данных.
- Обработка и анализ данных.
- Генерация возможных альтернативных решений(сценариев).
- Оценка возможных альтернативных решений (сценариев).
- Согласование решений (сценариев).
- Компьютерный анализ динамики развития ситуации.
- Выбор решения (сценария).
- Реализация решения.
- Оценка соответствия выполнения принятых решений намеченным целям.

Эти этапы на практике редко выстраиваются в строгую линейную последовательность действий участников процедур управления. Более адекватной является схема, приведенная на рис. 1.6.



Специфика управляемого объекта и конкретных требований, предъявляемых к характеристикам управления, определяет конкретное содержание этапов цикла управления и ту степень автоматизации каждого этапа, которая оказывается разумной и возможной в конкретных условиях. Наиболее существенными факторами, определяющими специфику конкретного приложения, являются следующие:

- 1) интенсивность потока СТПР и их разнообразие;**
- 2) требования к временным характеристикам цикла управления;**
- 3) сложность объекта управления;**
- 4) требования к показателям эффективности управления.**

Можно выделить по крайней мере 2 группы факторов, приводящих к необходимости автоматизации фазы принятия решения:

- при возросшем потоке СТПР, возросшей сложности управляемых объектов, ужесточении требований ко времени реализации цикла управления требования к уровню эффективности управления не снизились. Это привело к необходимости сокращения ресурса времени других стадий цикла управления;
- автоматизация фаз сбора, анализа и обработки информации входят в противоречие с «ручной» формой фазы принятия решений. Это обусловлено ограниченной скоростью обработки информации человеком, ограниченной способностью оперировать большими размерностями, а современные технологии интенсификации предъявления данных ЛПР (например, OLAP, многомерные кубы и т.п.) слабо востребованы.

Трудности решения проблемы автоматизации принятия решений в сравнении с другими фазами обусловлены в основном алгоритмической сложностью и неопределенностью, присущей процессам принятия решений. Преодоление этих трудностей возможно в различных направлениях.

Выделим 2, на наш взгляд, наиболее важных.

- **Структуризация процессов принятия решений** как элементов реально существующих бизнес-процедур предприятий, направленная на практически полное снятие возможных заводы-автоматы по производству кузовов автомобилей, где человеческий фактор неопределенности и другие источники нестабильности практически исключены.
- **Подбор математических моделей выбора решений**, адекватных предпочтениям лица, принимающего решения.

Представим схему взаимосвязи основных элементов, приведенных на рис. 1.6, в более формализованном виде, введя при этом ряд понятий, важных для дальнейшего изложения.

**Показателем** будем называть величину, отражающую в одной из шкал измерений то или иное свойство объекта (например, стоимость, вероятность безотказной работы, вес, объем и т.п.).

**Состоянием** будем называть совокупность значений показателей объекта (например, состоянием проекта можно считать стоимость и срок его выполнения).

**Ситуацией** будем называть совокупность состояний объекта и среды вместе с накладываемыми на них ограничениями.

Ситуация может меняться во времени, но потребность в принятии решений может и не возникать. Те же ситуации, при которых требуется принять решение (например, при наступлении некоторого порогового события), будем называть ситуациями, требующими принятия решения (СТПР).

**Критерием** будем называть способ выражения различий в оценке альтернативных вариантов решений с точки зрения ЛПР.[\*] Критерий фактически является некоторым функционалом, к которому предъявлено требование в формализованном виде обеспечить некоторые условия.

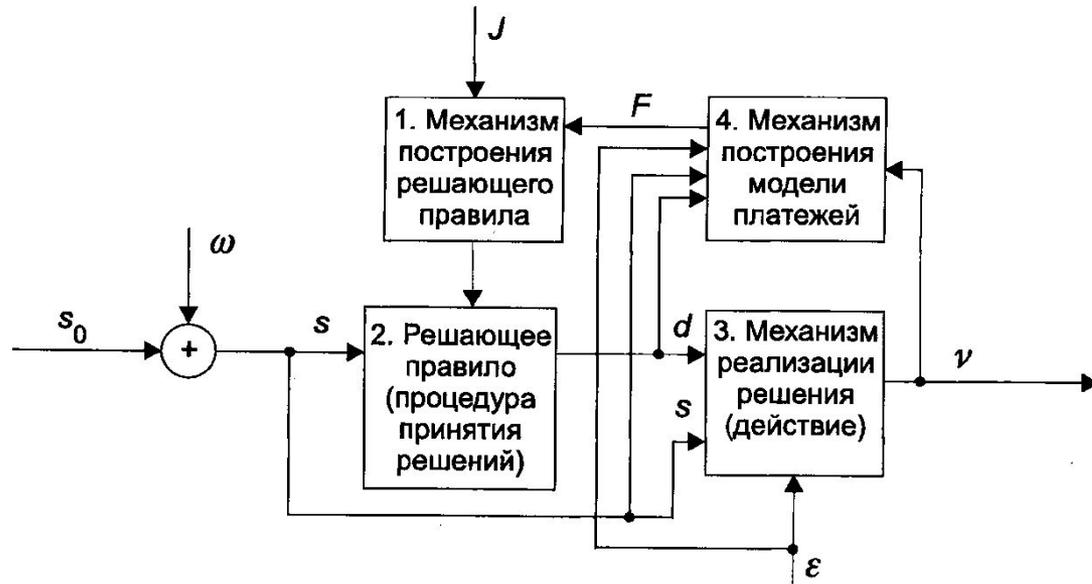
**Решением** будем называть некоторое правило, в соответствии с которым выполняются действия, направленные на достижение цели (например, выбрать вариант, обеспечивающий наименьшую стоимость, или выбрать вариант, обеспечивающий стоимость не выше заранее заданной, и т.п.).

**Целью** будем называть желаемое для ЛПР состояние объекта.

Цель может быть навязана или предписана лицу, принимающему решение, извне, может быть получена от ЛПР более высокого уровня (директивная цель) и принята к исполнению или модифицирована им преднамеренно, в соответствии с личными интересами или искажена случайно. Иными словами, *рабочая версия критерия*, в соответствии с которым ЛПР принимает решение, может не соответствовать предписываемой или предполагаемой цели. На практике, особенно в современных российских условиях, довольно часто можно встретить решение, кажущееся внешнему наблюдателю странным или нерациональным, или не соответствующим очевидной цели (например, предприятие не стремится максимизировать прибыль или из всех возможных маршрутов доставки груза выбирается самый длинный и т.п.). Здесь уместно вспомнить высказывание Л.Эйлера: «В мире не происходит ничего, в чем не был бы виден смысл какого-ли максимума или минимума».

**Позиция ЛПР** —еще одно важное понятие, которое далее используется при конструировании процедур выбора решений. В содержательном смысле позицию ЛПР можно трактовать и как *точку зрения, взгляд* (view) ЛПР; т.е. позиция некоторым образом преобразует (преломляет) исходные цели через «субъективную призму» конкретного ЛПР.

Схема, увязывающая функциональные блоки с потоками данных, приведена на рис. 1.7.



На схеме обозначено:  $J$  — критерий, которым руководствуется ЛПР при выборе модели принятия решения, например критерий максимально гарантированного результата, критерий минимальных средних потерь и т.п.;  $s_0$  — фактическое (не искаженное шумами наблюдений) состояние природы (объекта, процесса, явления), например прогноз об окончании работы в срок, ограничения на ресурсы и т.п.;  $\omega$  — шум наблюдений состояния природы;  $s$  — измеренное состояние природы;  $d$  — принятое решение;  $\varepsilon$  — факторы внешней среды, воздействующие на механизм реализации решений, т.е. на действия, которые выполняются после принятия решения  $d$ ;  $v$  — конкретный платеж (выигрыш, потери, риск и т.д.), имеющий место после реализации решения  $d$ ;  $F$  — обобщенное представление модели взаимосвязи входных и выходной величин блока 3:  $v = F(d, s, \varepsilon)$ .

## **Субъективный фактор**

В современных корпоративных информационных системах, как и в эпоху построения АСУ, существуют проблемы, связанные с организацией *оптимального взаимодействия человека и КИС* в рамках процедур выбора решений.

Можно отметить две крайности, в которых проблемы распределения функций между человеком и машиной (Ч—М) не возникают:

- когда все функции управления реализуются человеком;
- когда все функции управления реализуются машиной без человека.

Однако для подавляющего большинства современных систем эти крайности не характерны, и задача заключается в эффективном распределении функций между человеком и машиной и построении удобного интерфейса.

При этом обычно предполагается, что такие качества человека (ЛПР), как способность адекватно воспринимать цель, компетентность, разумность, уровень квалификации, психофизиологические качества и ряд других, соответствуют требуемым значениям.

Однако на практике, в реальных ситуациях выбора решений, те или иные качества могут отличаться от требуемых, что, как правило, приводит к существенному снижению качества принятого решения

Наиболее важными представляются следующие факторы, способные существенно повлиять на качество решений.

1. Неправильное понимание цели, изменение ее с учетом собственных интересов.

- Неточная оценка ресурсов, ограничений, условий.
- Упрощение законов формирования СТПР.
- Использование неточных (неадекватных, некорректных) решающих правил при выборе варианта.
- Недостаточно точный прогноз и/или неполное представление о возможных исходах реализации принимаемых решений.
- Слабая обучаемость.
- Сокращение числа реально учитываемых критериев принятия решений при многокритериальной ситуации.
- Отказ от использования дополнительной активной информации.

Однако влияние этих факторов в Ч—М-системах может быть компенсировано введением в состав программного обеспечения КИС блоков и модулей, выполняющих:

- проверку адекватности целей ЛПР целям системы;
- явное или неявное тестирование ЛПР для определения его возможностей в разрешении конкретной СТПР;
- настройку некоторых формальных моделей принятия решений с целью дальнейшей разгрузки ЛПР при разрешении СТПР, ставших рутинными (формализованное накопление опыта), и т.п.

Такие дополнительные возможности КИС позволят сделать Ч-М-систему более живучей, а принимаемые решения – более надежными.

В традиционных (немашинных) системах управления или в тех системах, где КИС играли роль «больших арифмометров» или хранилищ данных, накопление опыта выбора решений также имело место, но оно происходило на неформальной основе, в неявном виде.

Оформлялось это в виде инструкций, методик и т.п.

Однако в условиях высокой динамики функционирования управляемого объекта и принимая во внимание возможности, предоставляемые ЛПР машиной, накопление опыта должно осуществляться на основе моделей с постепенным «перекладыванием» этих функций на КИС.

При этом роль лица, принимающего решения, постепенно должна сводиться к принятию решений в нестандартных ситуациях, при новых условиях (СТПР), т.е. в тех случаях, когда формальные модели становятся на какое-то время неадекватными.

В пользу необходимости формализации накопленного опыта принятия решений говорят и результаты анализа деятельности экспертов, которые показали, что специалисты в соответствующей области обладают существенно большими возможностями отбору и кодированию информации, чем по ее интеграции[22, 33].

## 1.2.2. Технологии выбора вариантов и принятия решений

### Обучение и накопление знаний в сложных системах

Перечисленные цели и принципы отражают наше представление о том, какими должны быть процедуры выбора решений в управлении современными предприятиями. Ключевыми моментами в таких процедурах выступают обучение, адаптация, подстройка под лицо, принимающее решения, как под эталон «правильности» предпочтений, которому должны соответствовать решения, принимаемые в системе предприятие—КИС—ЛПР. Средства таких процедур должны ненавязчиво «вытягивать» из ЛПР его знания и опыт, перекладывая их на язык соответствующих формализованных моделей. Причем такое обучение моделей должно учитывать нестационарности и динамику как собственно предпочтений ЛПР, так и среды, формирующей ситуации выбора решений.

Кратко прокомментируем существующие на сегодня подходы к накоплению (аккумулированию) знаний и опыта ЛПР в процессе функционирования сложных человеко-машинных систем, не раскрывая содержания и конкретных алгоритмов решения задач в рамках этих направлений.

Одной из важных особенностей управления экономическими объектами как сложными системами является *комплексный характер проблем выбора решений*. Существует много факторов, позволяющих рассматривать экономические объекты как сложные системы [3, 42]. Кроме чисто технических наиболее значимы являются факторы участия человека в различных звеньях управления (выбора решений) и реализации управляющих воздействий. И именно на фазах выбора решений проявляется комплексный характер, так как при этом ЛПР должны учитывать большой объем данных для обеспечения желаемого эффекта от последующей реализации решений.

Существенным является и огромное разнообразие реальных систем и обстоятельств, в которых возникает необходимость в выборе эффективных решений [3, 12, 25, 26, 41, 72]. Но тем не менее по пути от частных задач к общим подходам их решения к настоящему времени сформировался некоторый ряд направлений развития подходов к автоматизации и/или поддержке процедур принятия (выбора) решений в современных достаточно непростых предприятиях, оснащенных теми или иными вариантами КИС. Особенности этих направлений и рассмотрены кратко в текущем разделе.

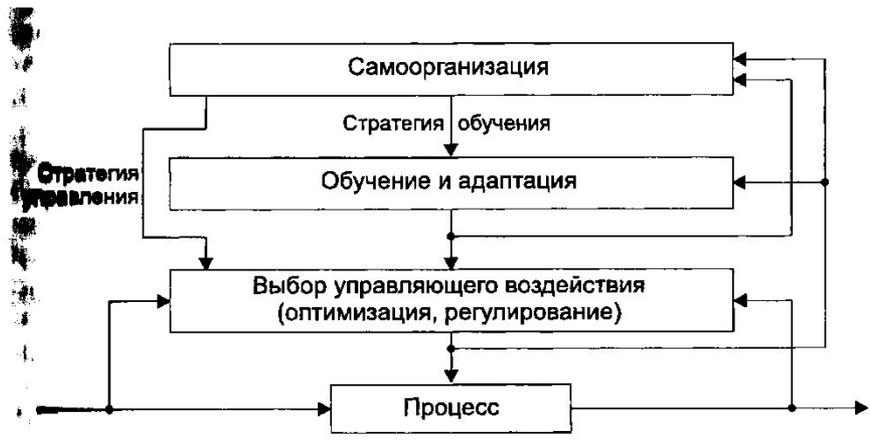
Как уже отмечалось выше, на наш взгляд, в настоящее время наметилось определенное противоречие между немалыми возможностями современных КИС по обработке и представлению данных, циркулирующих в системе, и «ручным» характером выбора вариантов решений. Все чаще возникает потребность переложить «на плечи» компьютеров и часть операций выбора решений. В эпоху больших ЭВМ последние помогали человеку в решении рутинных операций по обработке и хранению данных; в эпоху компактных и мощных компьютеров с удобным интерфейсом эти рутинные операции автоматизированы до такого виртуозного уровня (OLAP, многомерные кубы и т.п.), что человек в качестве лица, принимающего решение, не стремится воспользоваться имеющимися возможностями, поскольку они не снимают «проклятия размерности» и не дают эффективной поддержки в процедурах выбора решений.

Вопросами обучения, накопления знаний, самонастройки и самоорганизации исследователи интересовались достаточно давно [6, 17, 21, 47, 67]. В рамках таких научных направлений, как искусственный интеллект и экспертные системы, было разработано много технологий, позволяющих решать отдельные практические задачи.

Кроме того, вопросам функционирования ЛПР в сложных системах посвящено много работ и в других направлениях исследований. В работах Н.Н. Моисеева [42] и Ю.Б. Гермейера [20] предложен игровой подход к описанию принятия решений в двухуровневых системах; А.С. Позняком и А.В. Назиным разработаны адаптивные алгоритмы непосредственного (без построения модели) выбора вариантов [44]; В.Н. Бурков [11] предложил теорию активных систем, позволяющую учитывать при управлении в многоуровневых системах намеренное искажение информации взаимодействующими сторонами; М.Д. Месарович [40] предложены принципы построения и выработки управляющих воздействий в иерархических системах; Л.Заде [24], А.Н. Борисовым [9] разработана теория размытых множеств и ряд прикладных направлений для представления экспертных данных и использования их в системах управления; О.И. Ларичевым [34] предложены подходы и методы формализации процесса выбора решений в уникальных или неповторяющихся ситуациях; Дж. фон Нейманом, Р. Кини и др. [28, 47] разработана теория полезности для принятия решений с учетом особенностей восприятия дохода/выигрыша человеком; в последние годы все большее развитие получают такие направления, как нейронные сети и генетические алгоритмы [74].

Однако из всех перечисленных направлений в большей степени вопросам накопления знаний о предпочтениях ЛПР на некотором поле ситуаций принятия решений посвящены лишь экспертные системы.

Иерархия процессов принятия решений по Месаровичу [40] — это набор слоев, которые укрупненно можно представить тремя уровнями (рис. 1.8).



## • Системы поддержки принятия решений

### Поддержка принятия решений

Принятие решений - каждодневная деятельность человека, часть его повседневной жизни. Простые, привычные решения человек принимает легко, часто автоматически, не очень задумываясь. В сложных и ответственных случаях он обращается к друзьям, родственникам, опытным и знающим людям за подтверждением своего решения, несогласием с ним или за советом: каким могло бы быть другое решение. Часто обращаются к книгам, в том числе и религиозным, даже астрологии и гаданиям. Такие обращения – это процесс поддержки принятия решения.

Принятие решения в большинстве случаев заключается в генерации возможных альтернатив решений, их оценке и выборе лучшей альтернативы.

Принять "правильное" решение — значит выбрать такую альтернативу из числа возможных, в которой с учетом всех разнообразных факторов и противоречивых требований будет оптимизирована общая ценность [1.1], то есть она будет в максимальной степени способствовать достижению поставленной цели.

При выборе альтернатив приходится учитывать большое число противоречивых требований и, следовательно, оценивать варианты решений по многим критериям. Как хорошо заметил в свое время Нильс Бор: "Есть примитивные истины, противоречие которым явно ложно, но существуют также и высшие истины такие, что противоречащие им постулаты также справедливы".

Противоречивость требований, неоднозначность оценки ситуаций, ошибки в выборе приоритетов сильно осложняют принятие решений.

Неопределенности являются неотъемлемой частью процессов принятия решений.

Эти неопределенности принято разделять на три класса [1.2]: неопределенности, связанные с неполнотой наших знаний о проблеме, по которой принимается решение; неопределенность, связанная с невозможностью точного учета реакции окружающей среды на наши действия, и, наконец, неточное понимание своих целей лицом, принимающим решения.

Свести задачи с подобными неопределенностями к точно поставленным целям нельзя в принципе [1.2]. Для этого надо "снять"<sup>4</sup> неопределенности. Одним из таких способов снятия является субъективная оценка специалиста (эксперта, руководителя), определяющая его предпочтения.

Таким образом, эксперт или лицо, принимающее решение (ЛПР), вынуждены исходить из своих субъективных представлений об эффективности возможных альтернатив и важности различных критериев. Эта субъективная оценка оказалась в настоящее время единственно возможной основой объединения разнородных физических параметров решаемой проблемы в единую модель, позволяющую оценивать варианты решений [1.3].

В этой субъективности нет ничего плохого. Опытные руководители хорошо осознают, сколько личного и субъективного они вносят в принимаемые решения. С другой стороны, об успехах и неудачах большинства человеческих решений люди могут судить исходя только из своих субъективных предпочтений и представлений.

## 5

Но самое сложное заключается в другом. Изменился круг задач, решаемых человеком в различных сферах своей деятельности. Возникли новые сложные и непривычные для него проблемы. В течение столетий люди могли принимать решения, ориентируясь на один-два главных фактора, не учитывая многие другие. Они жили в мире, где темп изменения окружающей среды был невелик и новые явления возникали "по очереди", а не сразу.

Сейчас положение изменилось. Большое количество задач, если не большинство, являются многокритериальными задачами, в которых приходится учитывать большое число факторов. В этих задачах человеку приходится оценивать множество сил, влияний, интересов и последствий, характеризующих варианты решений. Например, при принятии решения о строительстве завода приходится учитывать не только ожидаемую прибыль и необходимые для строительства капиталовложения, но и динамику рынка, действия конкурентов, экологические, политические, социальные факторы и т.п. Возвращаясь к проблеме поддержки принятия решений, необходимо отметить, что признанием фактора субъективности ЛПР в принятии решения нарушен фундаментальный принцип методологии, исследования операций: поиск объективно оптимального решения. Признание права ЛПР на субъективность решения есть признак появления новой парадигмы, характерной для другого научного направления - принятия решений при многих критериях [1.4].

**6** Однако при принятии решений по многим критериям существует и объективная составляющая.

Обычно эта составляющая включает в себя ограничения, накладываемые внешней средой на возможные решения (наличие ресурсов, временные ограничения, экологические требования, социальная обстановка и т.п.).

Многочисленные психологические исследования показывают, что сами ЛПР без дополнительной аналитической поддержки используют упрощенные, а иногда и противоречивые решающие правила [1.5].

**Поддержка принятия решений и заключается в помощи ЛПР в процессе принятия решений**

Она включает:

помощь ЛПР при анализе объективной составляющей, т.е. в понимании и оценке сложившейся ситуации и ограничений накладываемых внешней средой;

выявлении предпочтений ЛПР, т.е. в выявлении и ранжировании приоритетов, учете неопределенности в оценках ЛПР и формировании его предпочтений;

генерации возможных решений, т.е. формировании списка альтернатив;

оценке возможных альтернатив, исходя из предпочтений ЛПР и ограничений, накладываемых внешней средой;

анализе последствий принимаемых решений;

выборе лучшего, с точки зрения ЛПР, варианта

Компьютерная поддержка процесса принятия решений так или иначе основана на формализации методов получения исходных и промежуточных оценок, даваемых ЛПР, и алгоритмизации самого процесса выработки решения.

**Формализация методов генерации решений, их оценка и согласование** является

чрезвычайно сложной задачей. Эта задача стала интенсивно решаться с возникновением вычислительной техники. Решение этой задачи в различных приложениях сильно зависело и зависит от характеристик доступных аппаратных и программных средств, степени понимания проблем, по которым принимаются решения, и методов формализации.

Основная сложность, возникающая здесь, заключается в том, что ЛПР, как правило, не привык к количественным оценкам в процессе принятия решений, не привык оценивать свои решения на основе математических методов с помощью каких-либо функций, с трудом анализирует последствия принимаемых решений.

Сегодня это безусловно является серьезным психологическим барьером для внедрения в практику методов компьютерной поддержки принятия решений. Однако, если вспомнить, как преодолевались близкие по своей природе трудности в освоении компьютеров специалистами, не работавшими до этого с вычислительной техникой, то может появиться "осторожный оптимизм" в оценке использования количественных методов принятия решения.

Системы поддержки принятия решений существуют очень давно: это военные советы, коллегии министерств, всевозможные совещания, аналитические центры и т. д. Хотя они никогда не назывались системами поддержки принятия решения, но выполняли именно их задачи (в некоторых случаях частично). До последнего времени они, естественно, не использовали вычислительные машины и правила функционирования хотя регламентировались, но были формализованы далеко не так, как это требуется в человеко-машинных процедурах.

Увеличение объема информации, поступающей в органы управления и непосредственно к руководителям, усложнение решаемых задач, необходимость учета большого числа взаимосвязанных факторов и быстро меняющейся обстановки настоятельно требуют

использовать вычислительную технику в процессе принятия решений. В связи с этим появился новый класс вычислительных систем - системы поддержки принятия решений (СППР).

Термин "система поддержки принятия решений" появился в начале семидесятых годов [1.6]. За это время дано много определений СППР, которые не противоречат друг другу, а скорее акцентируют внимание на отдельных сторонах процесса принятия (выбора) решений.

**СППР – это человекомашинные системы, которые позволяют ЛПР использовать данные, знания, объективные и субъективные модели для анализа и решения слабоструктурированных и неструктурированных проблем.**

Если проблема структурирована, то она имеет количественное представление, следовательно, количественное решение.

**СППР – это компьютерная система, позволяющая ЛПР *сочетать* собственные субъективные предпочтения с компьютерным анализом ситуаций при выработке рекомендаций в процессе принятия решений.**

В этом определении говорится не о компьютерном анализе данных, а о компьютерном анализе ситуации, что представляет собой расширенное толкование проблемы, суть которого состоит в том, что наряду с анализом данных предполагается и анализ знаний.

**СППР – это компьютерная ИС, используемая для различных видов деятельности при принятии решений в ситуациях, где невозможным или нежелательным является иметь автоматическую систему, полностью выполняющую весь процесс решения.**

Не трудно видеть, что эти определения являются непротиворечивыми, а дополняющими друг друга.

**СППР – это средство, которое обеспечивает/поддерживает процесс принятия решения, в этом взаимодействии ЛПР и системы поддержки носит циклически итерационный характер.**

Человеко-машинная процедура принятия решений с помощью СППР представляет собой циклический процесс взаимодействия человека и компьютера. Цикл состоит из фазы анализа и постановки задачи для компьютера, выполняемой лицом, принимающим решение (ЛПР), и фазы оптимизации (поиска решения и выполнения его характеристик), реализуемой компьютером [1.11].

Системы поддержки принятия решений:

- Помогают произвести оценку обстановки (ситуаций), осуществить выбор критериев и оценить их относительную важность;
- Генерируют возможные решения (сценарии действий);
- Осуществляют оценку сценариев (действия, решений) и выбирают лучший;
- Обеспечивают постоянный обмен информацией об обстановке принимаемых решений и помогают согласовать групповые решения;
- Моделируют принимаемые решения (в тех случаях, когда это возможно);
- Осуществляют динамический компьютерный анализ возможных последствий принимаемых решений.
- Производят сбор данных о результатах реализации принятых решений и осуществляют оценку результатов.

Точно так же, как и в моделировании, в процессе принятия решений наилучшее или рациональное решение может быть выработано или найдено только в результате итерационной последовательной процедуры. Сам процесс принятия решения зависит от целого ряда факторов.

***Факторы, определяющие характер человекомашинных процедур поддержки и принятия решений:***

- характер распределенности СППР: определяет характер принятия решения:
  - групповой или индивидуальный;
  - тип структурированности проблемы;
- характер оценки результатов решения: возможность объективной оценки последствий и полученных результатов;
- характер ситуации, в которой принимают решение ЛПР: решение принимаются при
  - достаточных лимитах времени, в условиях ограниченных лимитов или в стрессовые ситуации;
- характер компьютерного анализа ситуации, производимого с помощью СППР.

Эти факторы влияют на процедуру и принципы построения самих СППР.

***Характер распределенности СППР:*** По характеру распределенности СППР делятся на две группы:

1. Сосредоточенные;
2. Распределенные (рассредоточенные)

**Характер распределенности СППР:** по характеру распределенности СППР

делятся на две группы:

1. Сосредоточенные; 2. распределенные (рассредоточенные)

Сосредоточенные: в этих системах процесс подготовки возможных решений сосредоточен в одном месте. Обычно это экспертная система, установленная на одной вычислительной машине. Если экспертная система большая, то она может быть установлена на нескольких машинах, но в целом это одна СППР.

Информация о процессах, ситуации собирается в одну точку, и все локальные системы являются только источниками данных, т.е. прямого участия в подготовке решения не принимают.

Здесь возможно два варианта:

• *полностью автоматическая* выработка решения и выдача управляющих сигналов на исполнение решений. Это достаточно простой класс систем.

Главным образом, это системы технического контроля (например: централизованная система пожаротушения). Для экономики такие системы практически не пригодны;

• *решения принимает человек*, а экспертная система предлагает ему рекомендации.

Главный смысл этих систем состоит в том, что компьютерный анализ ситуации может быть выполнен с большей скоростью, здесь отсутствуют ограничения на размерность задачи (NхM):

$$A = \{a_i, i = 1, N\}$$

$$C = \{c_j, j = 1, M\}$$

ЛПР надежно решает задачи размерностью не более  $7*7=49$ . За пределами этой размерности эксперты работают очень ненадежно. Компьютерная система в данном случае из большого пространства решений отберет ограниченный набор наиболее рациональных решений, а ЛПР выберет по своим предпочтениям наилучшее.

Сосредоточенные это наиболее простой класс СППР, и как любая централизованная система являются ненадежными системами, поскольку нарушение работы центральной экспертной системы делает всю систему полностью неработоспособной.

Распределенные характеризуются тем, что в них присутствуют локальные СППР, и каждая из этих локальных систем решает свою частную задачу. Характер распределенности может быть различен: *пространственная распределенность*, когда локальные системы расположены в различных пространственных точках, и связь между ними осуществляется с помощью различных средств телекоммуникации; *организация локальной вычислительной сети*, и каждая из этих сетей представляет собой локальную СППР.

В сосредоточенных системах узлы ЛВС не выполняют самостоятельно задачи, а в рассредоточенных – каждый узел это локальная СППР.

В распределенных СППР локальные системы могут выполнять свои частные задачи, даже если часть системы оказалась разрушенной.

Основным типом распределенных систем считается иерархический тип, когда локальные СППР располагаются на непересекающихся уровнях. Важность задачи определяется номером уровня, где система находится, конечное решение вырабатывалось в главном узле (фокусе иерархии). Последнее время к иерархическим системам добавлены многоагентные распределенные системы, где отсутствует разделение на иерархические уровни и жесткое иерархическое подчинение.

Все распределенные системы (кроме перечисленных вариантов) делятся еще на несколько классов в зависимости от того, где, кто и как принимает окончательное решение:

**решение предлагают несколько экспертных систем, локализованных в одной вычислительной системе в пределах многопроцессорной машины.**

Предлагаемые решения могут представлять различные оценки ситуации. Общее интегрированное решение выполняет один эксперт, находящийся за центральным монитором;

**система пространственно-распределенная, т.е. это узлы крупной вычислительной сети.** Решения по проблеме предлагаются в каждом узле такой сети. Например: в режиме телеконференции эксперты, работающие с соответствующими системами, пытаются найти интегральное решение. Возможна ситуация, когда какой-то узел предлагает несколько решений, это не принципиально.

**решение предлагается как СППР, так и экспертами.** Обе эти группы работают независимо. Затем ЛПР интегрирует два предложенных варианта. При этом не исключается ситуация, когда ЛПР отказывается от предложенных решений.

Существует три класса:

структурированные (все параметры и исходные данные имеют количественное представление);

слабоструктурированные (наряду с количественными данными появляются качественные оценки, причем имеется тенденция преобладания качественных оценок);

неструктурированные (могут быть описаны только на качественном уровне).

С точки зрения СППР интерес представляют системы второго и третьего класса.

*Проблемы бывают:*

связанные с построением самих систем: проблема заключается в выборе или разработке математического аппарата и ИТ;

связанные с ЛПР: уникальность проблемы – каждый раз проблема либо совершенно новая, либо имеется достаточно новых характеристик и особенностей, которые отличают эту проблему от ранее известных. ЛПР склонно действовать по аналогии;

неопределенность в оценке альтернативных вариантов: принятие решения – это альтернативный выбор, значит ЛПР должно иметь множество альтернатив. Если проблема новая, то построить множество альтернатив сложно. Для того чтобы оценивать альтернативу нужно множество критериев. Если проблема новая, то построить множество критериев также сложно. Надо построить систему оценок;

поскольку задача неструктурированная, оценки носят качественный характер, то возникает вопрос, как работать с качественными оценками.

Даже если для качественных оценок будут разработаны какие-то формализмы, окончательное решение все равно останется субъективным, основанным на субъективных предпочтениях либо одного ЛПР, либо группы лиц;

***В плохо структурированных задачах*** все оценки получают экспертным путем. Практически всегда отсутствует возможность для объективной оценки качества экспертных заключений. Перед ЛПР стоит проблема верить экспертным решениям или нет.

### ***Характер оценки результатов решений.***

Варианты:  
субъективная;  
объективная.

Задача с объективной оценкой результатов решений характеризуется тем, что может быть объективно определен факт нахождения решения, т.е. в этих задачах в явном виде определено значение критерия, фиксирующего достижение цели. Сюда можно отнести различные комбинаторные задачи, в которых после перебора и реализации определенных комбинаций однозначно определяется достижение поставленной цели.

В задачах с субъективными оценками нельзя или очень трудно явно указать критерий, определяющий достижение цели. В этом случае критерий определяется экспертами и экспертами же определяются условия выполнения данного критерия. В субъективных условиях существует вероятность того, что будет принят либо ошибочный критерий, либо будет ошибочной оценка выполнения критерия.

## ***Фактор ситуации, в которой ЛПР принимает решение с помощью СППР.***

стабильная ситуация;

экстремальная ситуация.

В стабильной ситуации может быть два типа задач:

повторно решаемые;

новые: основная трудность – отсутствие опыта.

Поскольку в стабильных условиях нет дефицита времени, то имеется возможность сбора дополнительной информации, приглашения дополнительных экспертов и т.д.

Экстремальные ситуации характеризуются дефицитом времени и быстро изменяющейся ситуацией.

Бывают:

ранее решаемые;

уникальные.

Если речь идет о ранее решаемых задачах, есть несколько трудностей: надо определить решалась ли подобная задача ранее. Нужно обратиться в хранилище данных и найти аналог. Работа с хранилищем данных требует много времени;

в экстремальных условиях ЛПР может принять ранее решаемую задачу за новую, следовательно, попадает в условия решения уникальных задач.

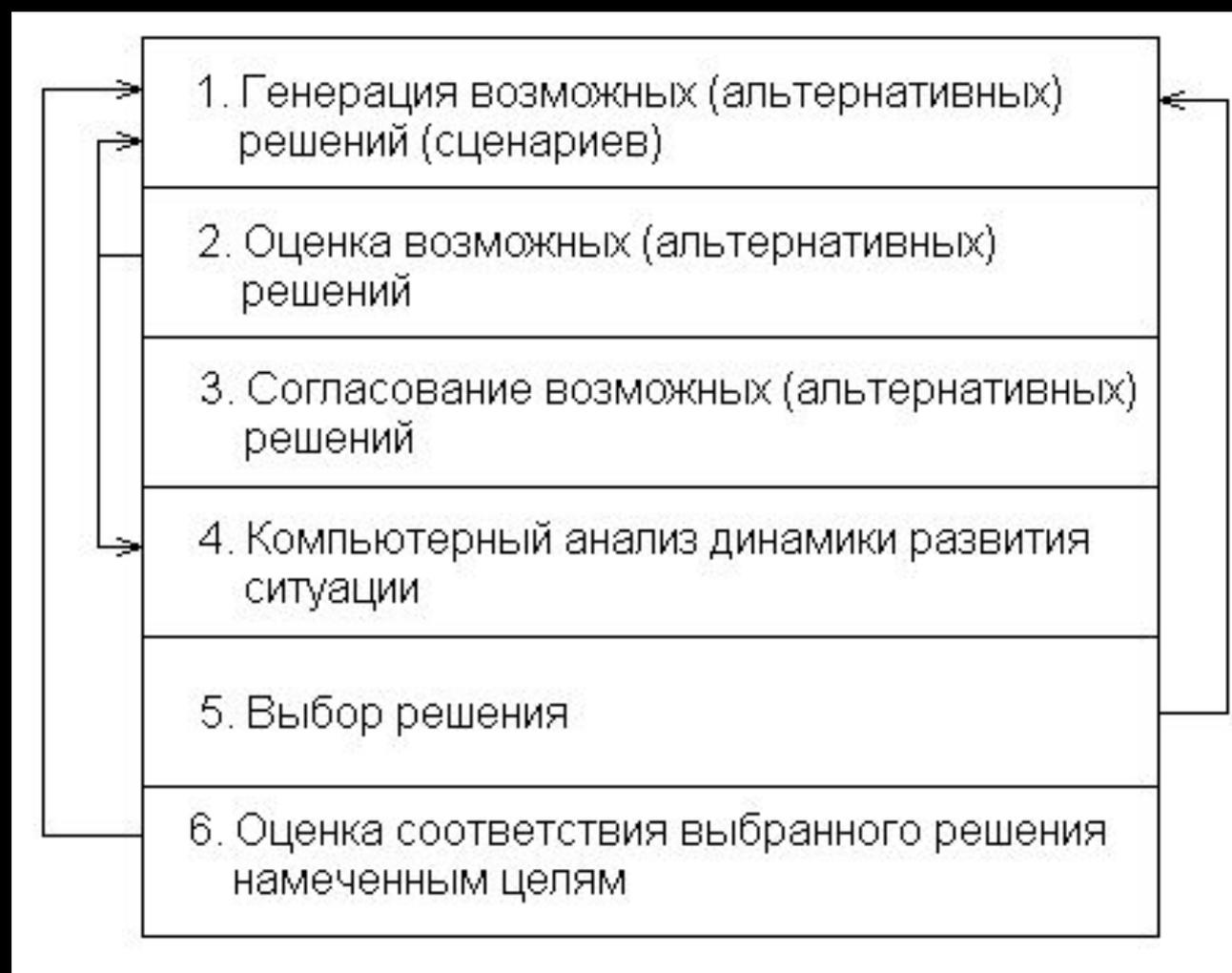
Решения уникальных задач при достаточном дефиците времени очень сложно

### ***Компьютерный анализ ситуаций, создаваемый СППР.***

Компьютерный анализ – это человеко-машинная процедура, которая характеризуется следующим: требуется или нет дальнейший анализ ситуации, возникающий после реализации решения.

статические ситуации, когда важно выработать решение, а анализ последующей ситуации либо необязательный, либо может быть отнесен на какой-то интервал времени (например: аварийный разлив нефти);

ситуации, возникающие при реализации того или иного решения, неопределенные. И если в первом случае можно выбрать одно единственное решение, то во втором нужно произвести ранжировку решения, и если последствия от первоначально принятого решения окажутся неудовлетворительными, переключиться на следующее.



# **Генерация решений**

## ***А. Генерация решений с помощью аналитических моделей***

В настоящее время разработано очень много методов и алгоритмов, позволяющих моделировать возможные результаты принятия решений.

К ним относится огромное число алгоритмов численных методов решения систем уравнений, статистические методы, методы ситуационного моделирования.

Ввиду колоссального разнообразия методов и очень сильной их привязанности к области приложений систематизировать их трудно, а приводить отдельные примеры не показательно. Поэтому может быть здесь целесообразно ограничиться только указанием того, что проблема моделирования принимаемых решений существует. Есть области, где оно применяется очень успешно, но существуют области, в которых такое моделирование дает достаточно грубые, а в некоторых случаях и просто неверные оценки.

## ***В. Генерация решений с помощью экспертных систем.***

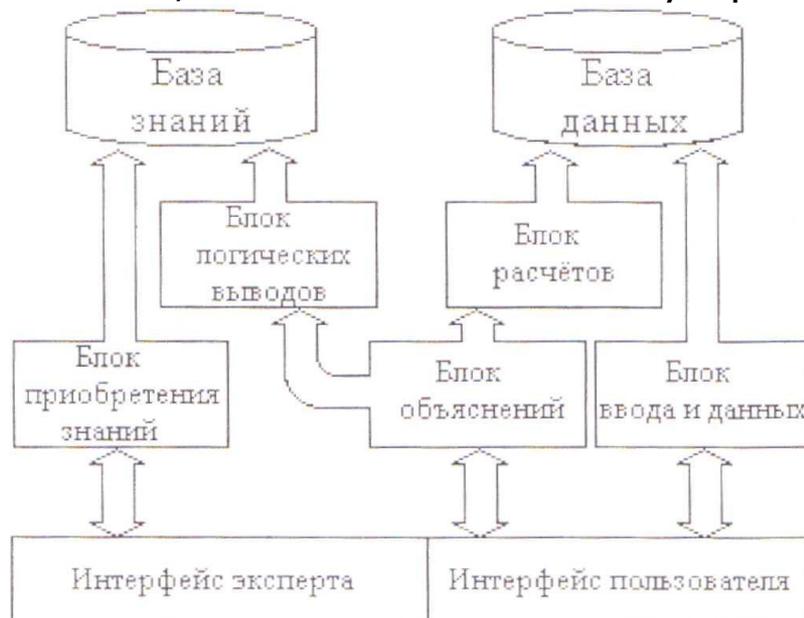
Генерация решений может быть реализована при помощи экспертных систем.

Экспертная система, используя знания, полученные от специалистов в данной предметной области, решает те же проблемы, экспертами в которых являются эти специалисты.

Экспертные системы, использующие эвристические знания, применяются в тех случаях, когда сформулировать решение задачи в традиционных математических терминах не

Удается.

Для всех наиболее успешных применений экспертных систем характерна по крайней мере одна общая черта - они работают в одной ограниченной предметной области знаний. Попытки расширить предметную область, даже в пределах одной области знаний (например, в медицине), в подавляющем большинстве случаев успеха не давали [1.36]. Упрощенная структура экспертной системы для сосредоточенных систем поддержки принятия решений представлена на рис. Основной особенностью экспертной системы является возможность делать выводы на основе знаний, хранящихся в базах знаний. Знания в экспертных системах могут быть представлены в виде семантических сетей, на основе логических подходов, в виде фреймов и в виде системы продукций. Система продукций, является, одной из наиболее популярных форм представления знаний.



Распределенные экспертные системы в каждом узле системы поддержки принятия решений строятся так же, как сосредоточенные, но помимо этого обладают только им присущими особенностями:

- физической или логической распределенностью в зависимости от того, располагаются ли
- они на разных узлах сети или на одном узле;
- распределенностью данных и баз знаний;

стратегией информационного обмена, учитывающей достоверность информации, ее важность, локальность или глобальность решаемой задачи, время ожидания задачи в очереди и т.п.

### ***С. Генерация решения в нестандартных ситуациях.***

При возникновении нестандартной ситуации, характер которой может идентифицироваться по ее принадлежности к данному классу экстремальных ситуаций, система поддержки принятия решений предлагает набор возможных действий (операций). Если такой набор не предусматривался заранее, он может быть создан экспертом или ЛПР. ЛПР или эксперт должен указать возможную последовательность выполнения операций, а также отметить, какие операции могут выполняться параллельно (одновременно). Эта информация может храниться в базе данных вместе со списком операций.

На основании этих данных, а также времени выполнения каждой операции, система поддержки принятия решений порождает возможные последовательности операций, (варианты сценариев) [1.29].

Таким образом, система порождает все возможные сценарии и возникает задача выбора наилучшего.

#### **1.4.4. Согласование решений (сценариев)**

Для того чтобы процедура согласования решения реализовывалась эффективно специалистом, участвующим в ней, надо предложить какие-то правила, по которым они осуществляли

поиск компромисса. Грубо говоря, эти правила можно было бы разделить на две категории: "чисто переговорные», т.е. без использования вычислительной техники, и человеко-машинные, опирающиеся на компьютерные процедуры. Эти компьютерные процедуры, применяемые на практике, в большинстве случаев достаточно просты. Ниже дается краткое перечисление некоторых процедур.

**A. Метод идеальной точки.** Точка **a** называется идеальной, если она оптимальна сразу по всем критериям. Как правило, такой точки, соответствующей оценкам хотя бы одного предъявленного объекта, не существует, но правилом поиска компромисса может быть минимизация расстояния до идеальной точки, которая может быть легко определена.

**B. Метод уступок.** Сущность метода - нахождение компромисса, определяющего "плату" за потерю показателей по какому-либо критерию или части критериев за счет выигрыша по другому критерию или другим критериям. В этом методе используется аппарат кусочно-линейной аппроксимации.

**C. Метод согласования решения по главному критерию.** В некоторых случаях задачу с несколькими показателями удастся свести к задаче с одним единственным показателем, и стремиться достичь экстремум по нему, а для остальных показателей ввести некоторые ограничения. Тогда проблема согласования сводится к выделению главного критерия, согласованию ограничений для всех остальных критериев, нахождению компромисса по главному критерию.

- ***D. Метод согласования решения при лексикографическом упорядочении.*** В тех случаях, когда могут быть определены важности критериев, упорядочение можно проводить сначала по самому важному критерию, если по этому критерию равными окажутся несколько состояний, то по второму по важности критерию, и т.д.
- ***E. Метод согласования групповых решений с использованием ранжирования по Парето.***
- ***F. Метод согласования по функции или отношению предпочтения (полезности).*** Формируется функция или отношение, отражающая предпочтение ЛПР (его видение "что такое хорошо и что такое плохо"). Вычисляются значения функций для альтернатив решения. Они ранжируются по значениям функций или по отношениям полезности.
- ***G. Метод согласования групповых решений с использованием  $\lambda$  - коэффициентов.***
- После согласования решений выполняется компьютерный анализ динамики развития ситуации или выполняется переход к выбору решения (сценария).

### **1.4.5. Оценка возможных решений (сценариев)**

Оценка возможных вариантов решений необходима для всех типов задач и типов систем. Она предшествует окончательному выбору решения и является его составным элементом

#### ***А. Традиционные методы оценки возможных решений***

В тех случаях, когда специалист может дать оценку каждого принимаемого решения, например, в баллах- это конечно, наилучший вариант. Однако очень часто, быть может даже в большинстве случаев, это сделать не удастся Поэтому в последнее время усиленное внимание теоретиков и прикладников уделялось разработке новых методов оценки, которые и перечисляются ниже.

#### ***В. Использование нечеткой логики для оценки возможных решений.***

Необходимость появления нечеткой логики вызвана тем, что по мере роста сложности систем постоянно падает наша способность делать точные и в то же время значащие утверждения относительно их поведения, пока не будет достигнут порог, за которым точность и значимость становятся почти взаимоисключающими характеристиками.

Для работы с размытыми множествами были введены лингвистические переменные. Лингвистической называется переменная, заданная на некоторой количественной шкале и принимающая значения в виде слов и словосочетаний естественного языка. Значения лингвистической переменной называются нечеткими переменными. Лингвистические переменные и их значения служат для качественного словесного описания некоторой количественной величины.

### **С Многокритериальные оценки.**

Оценка варианта решения (сценария, объекта) по многим критериям означает, что специалист преследует более чем одну цель и эти цели могут иметь разную степень важности, т.е. специалист руководствуется более чем одним показателем качества принимаемого решения. При этом характерна несводимость критериев естественным образом к одному содержательно значимому показателю качества.

После того, как оценка вариантов решений выполнены производится, если необходимо, переход к блоку 3 (согласование решений) или к блоку 4 (компьютерный анализ динамики развития ситуации), затем к блоку 5 - выбор решения. Если не найдено ни одного удовлетворительного решения, производится переход к блоку

#### **1. 1.4.6. Компьютерный анализ динамики развития ситуации**

Чрезвычайно важной является возможность представления ЛПР информации о возможном развитии ситуации при принятии того или иного решения. Такая информация возникает в процессе компьютерной игры, моделирующей реакцию противодействующей среды после очередного решения.

Процесс принятия решения можно рассматривать как игру двух (возможно нескольких) противников. Одним из них является ЛПР, другим - его противник: природа, экономика, социальная структура и т.д. Методы генерации решений и их оценки могут быть использованы на заключительной стадии принятия решения - анализе возможных последствий принимаемого решения как компьютерной игры. Такая игра может рассматриваться как отдаленный аналог компьютерных игр в шахматы, покер и т.д.

**14** В такой игре возможны три варианта [1.29]:

А. Все возможные ходы заранее predeterminedены. т.е. набор операций задан (добавлять новые нельзя). Можно менять последовательность их выполнения, часть не использовать вообще, можно менять объем и продолжительность выполнения операций. Такой вариант игры возможен, например, в финансовых, государственных ведомствах, банках, и т.д. при отсутствии экстремальных ситуаций.

В. Часть ходов predeterminedена, но возможны ходы не предусмотренные заранее. От варианта *А* вариант *В* отличается возможностью введения новых операций, опыта проведения, которого нет или есть опыт их проведения, но в другой обстановке. Возможны все изменения, указанные в варианте *А*.

С. Ситуация настолько непредвиденная, что реакция на нее не планировалась. Поэтому процедуру принятия решения надо начинать с "белого листа". То есть определять параметры, критерии, список операций и т.д.

Важно подчеркнуть, что ход - это, как правило, не одна операция, а сценарий.

Современные программы шахматной игры анализируют варианты на много ходов вперед. Они умеют играть за противника, поскольку ходы фигур на доске строго фиксированы, а правила определения "веса" (значимости) каждой фигуры в сложившейся ситуации строго определены. При игре с изменяющимися правилами типа *А* и *В* эти условия нарушаются.

Однако цель остается та же: не только найти лучшее решение на глубину в один ход, даже промоделировав его выполнение, а просмотреть обстановку на несколько ходов вперед, так как ход, кажущейся наиболее выигрышным в данный момент, при более глубоком анализе (или в процессе развития событий) может оказаться фатальным.

Используя игровой подход, аналогичный компьютерным играм, можно промоделировать ход достижения поставленной задачи, найти наилучший, исходя не только из оценки ситуации на данный момент, но и из анализа возможных вариантов развития событий.

#### 1.4.7. Выбор решения (сценария)

После того, как правила ранжирования решений согласованы, их оценки во многих случаях приходится пересчитывать заново и ЛПР выбирает лучшее с его точки зрения решение из нескольких вариантов, получивших самые высокие оценки. Эта процедура рассмотрена в разделе 3.5.4. После процедуры выбора решения СПР переходит к блоку 6 или, если выбор произвести не удалось, к блокам 1 или 2.

### ***Методы генерации решений***

В процессе генерации решений могут быть получены

- неожиданные принципиально новые, новаторские решения, которые пока компьютер делать не в состоянии;
- решения, основывающиеся на типовых сценариях, по аналогии, на основе комбинации известных частных решений; генерация таких решений доступна вычислительной машине.

Процесс генерации решений, основанный на эвристических предпочтениях ЛПР, можно подразделить на три последовательных этапа.

Каждому этапу в системе поддержки принятия решений должна соответствовать своя подсистема генерации решений. При этом надо подчеркнуть, что в СППР могут быть включены не все три подсистемы, более того, каждая из этих подсистем может функционировать и самостоятельно.

## ***1. Формирование когнитивной карты***

На этом этапе определяются основные факторы, влияющие на решение проблемы и их причинно-следственные связи. Система поддержки принятия решений становится инструментом облегчающим содержательный анализ этих связей, степень влияния различных факторов друг на друга и на систему в целом и помогающим эксперту или ЛПР неформальными методами выработать решение на основе проведенного анализа.

Формирование когнитивной карты может стать также исходными данными для последующих этапов генерации решения,

## ***2. Создание базы знания экспертной системы***

После того, как на основе когнитивного анализа выработаны предложения или приняты решения о выполнении определенного набора действий (операций), в базу данных экспертной системы (или нескольких экспертных систем) записываются условия, при которых могут быть выполнены эти действия и детали их выполнения в соответствии с создавшимися условиями. На основе этой информации, записанной в базе знания, экспертная система в соответствии с конкретной обстановкой, генерирует решение о порядке выполнения операций (действий).

Заметим, что экспертная система может быть создана и без этапа предварительного когнитивного анализа, хотя, как правило, в явном или неявном виде, он выполняется.

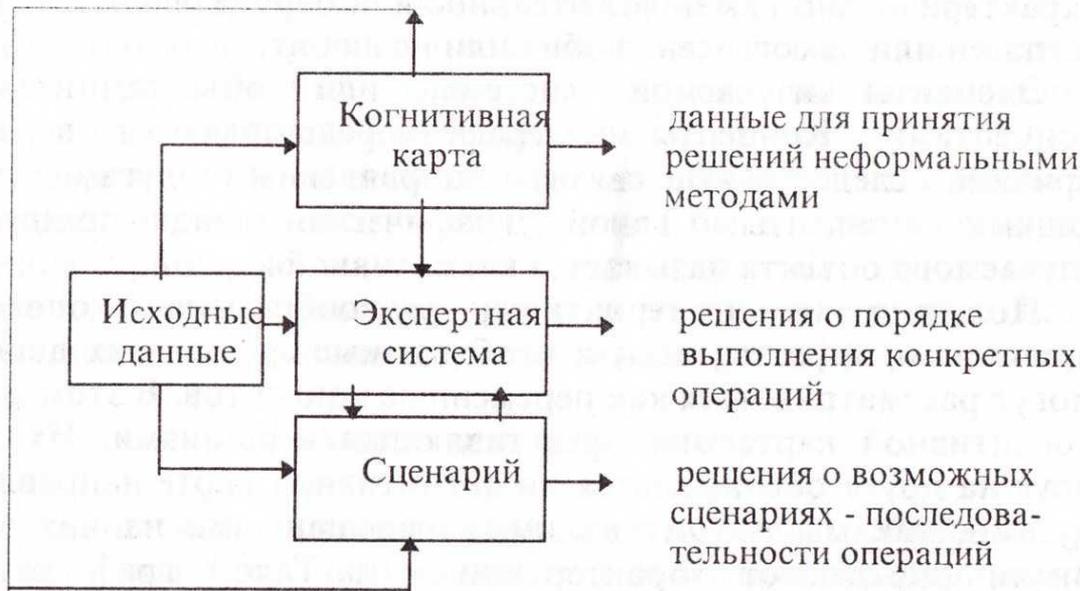
### 3. Сценарии - мозаика операции

Рассматривая набор операций, полученный в результате когнитивного анализа или сформированных в экспертной системе, как исходные данные, система поддержки принятия

решений

формирует возможные сценарии – последовательности выполнения таких операций (действий). Сценарии могут различаться не только последовательностью действий, но и составом. Определение такого сценария и является решением ЛПР или рекомендацией эксперта.

Сценарий может быть создан и без формального выполнения двух ранее указанных этапов. Как уже отмечалось выше, при создании систем поддержки принятия решений для различных приложений могут быть использованы либо один из этапов генерации решений, либо их различные комбинации (см. рис. 2.1. Стрелками указана возможная последовательность создания подсистем генераций решений).



Когнитивная карта (карта познания) — это вид математической модели, представленной в виде графа и позволяющей описывать субъективное восприятие человеком или группой людей какого-либо сложного объекта, проблемы или функционирования системы.

Когнитивная карта предназначена для выявления структуры причинных связей между элементами системы, сложного объекта, составляющими проблемы и т.п. и оценки последствий, происходящих под влиянием воздействия на эти элементы или изменения характера связей [2.3-2.6].

В каком-то смысле можно сказать, что когнитивная карта — это субъективная модель восприятия человеком частицы мира, с помощью которой он хочет осознать закономерности этой частицы, не вдаваясь в многие подробности, так как они чрезвычайно осложняют картину и затрудняют восприятие.

Теория графов предоставляет средства отображения структуры причинно-следственных связей: это пути, циклы и компоненты. Они оказываются полезными для анализа сложных структур взаимозависимостей. Эти три объекта могут вступать друг с другом в некоторые отношения, и каждое отношение может быть характеризовано как положительное или отрицательно — например, согласен или не согласен, любит или не любит.

Элементы изучаемой системы или объекта называются концептами. Концепты в графе представляются вершинами, причинно-следственные связи — направленными дугами, связывающими концепты. Такой графический вид представления изучаемого объекта называется когнитивной картой

Политические альтернативы, разнообразные экономические причины и эффекты, цели и необходимые средства для их достижения могут рассматриваться как переменные концепты. В этом случае на когнитивной карте они представляются вершинами Их влияние друг на друга обозначаются на когнитивной карте направленными дугами, как мы потом увидим, с навешанными на них знаками

Знаки определяют характер влияния. Такой граф называется знаковым графом.

Популярность когнитивных карт объясняется относительной легкостью представления причинных связей (отношений) между концептами и общей структуры изучаемого объекта.

Методы построения когнитивных карт должны отвечать следующим требованиям [2.3]:

- они должны быть конструктивны и удобны;
- они не должны требовать от составителя когнитивной карты предварительной спецификации концептов;
- они должны быть тесно связаны с методами оценок результатов анализа так, чтобы в процессе принятия решений когнитивная карта могла служить советчиком и даже критиком
- ЛПР;

они должны точно отражать представления ЛПР о концептах и отношениях между ними.

Существует несколько методов построения когнитивных карт:

- Когнитивную карту строит сам ЛПР на основе своих знаний и представлений без привлечений экспертов и справочных материалов. Эффективность этого метода определяется квалификацией ЛПР: его знаниями и умением определять характер отношений между концептами. Построение когнитивной карты помогает ЛПР яснее представить себе проблему, лучше понять роль отдельных концептов и характер отношений между ними. Это, видимо, самый быстрый способ построения когнитивной карты.
- Построение когнитивных карт на основе изучения документов. Этот метод имеет два преимущества: он удобен и позволяет использовать данные, которые использует сам ЛПР. Однако изучение документов экспертами - процесс достаточно трудоемкий.
- Построение когнитивных карт на основе опросов группы экспертов, имеющих возможность оценивать причинные связи. Преимущество этого метода в возможности агрегировать индивидуальные мнения и в базировании на большем диапазоне оценок, чем можно извлечь из изучаемых документов.
- Построение когнитивных карт, основанное на открытых выборочных опросах. Этот метод может быть использован для построения сравниваемых когнитивных карт. Его достоинство заключается в предоставлении исследователю возможности вести активный диалог с источниками информации.

## 2.2.2. Анализ когнитивных карт

Как уже отмечалось, когнитивная карта содержит элементы двух типов: концепты и причинные связи. Концепты рассматриваются как переменные когнитивной карты, а причинные связи — как отношения между каждой парой переменных. Эти отношения причинности могут иметь различные значения. Основные значения положительное, отрицательное и ноль. При положительном значении тех двух переменных, которые она связывает, изменения происходят в одном направлении (не обязательно со знаком плюс)

Поясним это часто используемым примером. Увеличение числа заводов вызывает рост потребления энергии, оно также значит, что сокращение числа заводов должно привести к уменьшению потребления энергии.

При отрицательном значении отношения причинности увеличение значения одной из переменных, связанных этим отношением, вызывает уменьшение значения другой (и наоборот).

То есть их изменения происходят в противоположных направлениях. Так, увеличение цены на энергию приводит к сокращению ее потребления и, соответственно, уменьшение цены - к увеличению потребления энергии. Нулевое отношение причинности показывает, что связи между двумя концептами нет.

Структуру когнитивного графа лучше всего представить в виде направленного графа, в котором вершины являются концептами (переменными концептов), а дуги выражают Отношения причинности. Дуги могут помечаться знаками "+" "-" или 0, что означает соответственно положительное, отрицательное или нулевое причинное отношение. Примеры положительной и отрицательной связи, рассмотренные выше, представлены на рис. 2.2.а.

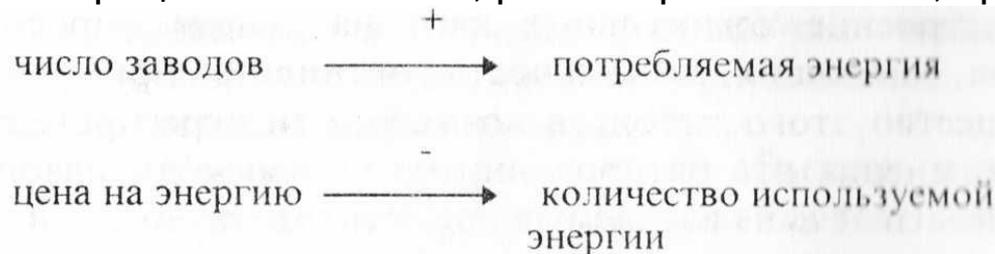
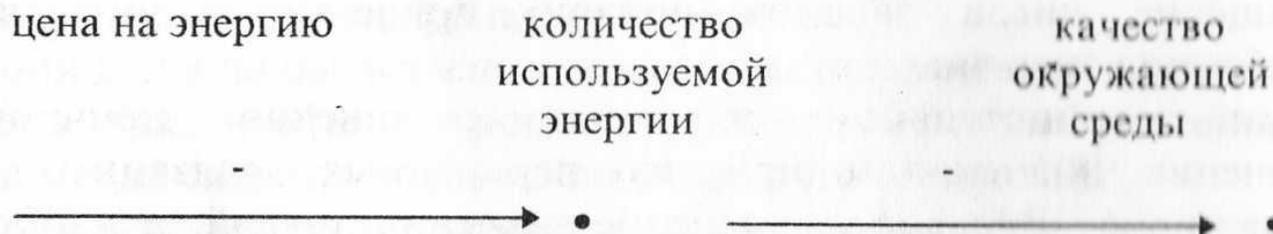


Рис. 2.2а

Возможные базовые значения, используемые в когнитивных картах, являются логической комбинацией значения "положительное", "отрицательное" и "нулевое". Таких комбинаций девять: + положительное; - отрицательное; 0 нулевое; (+) неотрицательное; т.е.  $\{0, +\}$ , (-) неположительное, т.е.  $\{0, -\}$ ; m-ненулевое, т.е.  $\{+, -\}$ ; и-универсальное, т.е.  $\{+, - 0\}$ ; а - амбивалентное.

Как уже отмечалось ранее, направленный граф с перечисленными выше метками, которыми помечаются его дуги, называется знаковым графом.

Во многих случаях причинный концепт, из которого выходит дуга, является одновременно и концептом результата, т.е в него входит дуга выходящего из другого причинного концепта. Пример такого знакового графа показан на рис. 2.2.б.

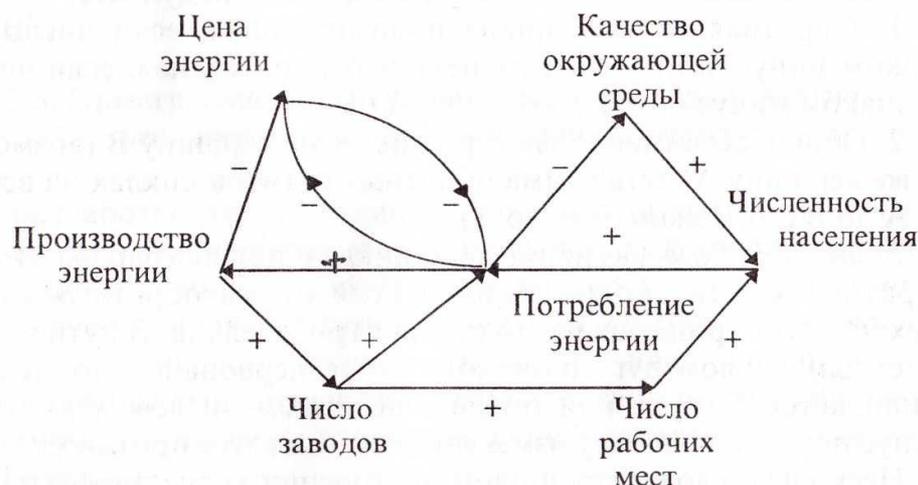


Теперь рассмотрим, как может быть проведен анализ для комплексной когнитивной карты: определим ее структурные свойства и выводы, которые можно получить из такой когнитивной карты. Сначала рассмотрим причинные отношения.

Так, на графе рис. 2.2.Б показан путь из двух дуг от цены на энергию от качества окружающей среды. Показана следующая последовательность:

- 1) повышение цен на энергию вызывает сокращение ее потребления, так как отношение причинности отрицательное;
- 2) сокращение количества потребляемой энергии ведет к улучшению качества окружающей среды, так как отношение причинности опять отрицательное. Таким образом, увеличение значения, первой переменной через два отрицательных отношения причинности приводит к увеличению значения последней переменной графа.

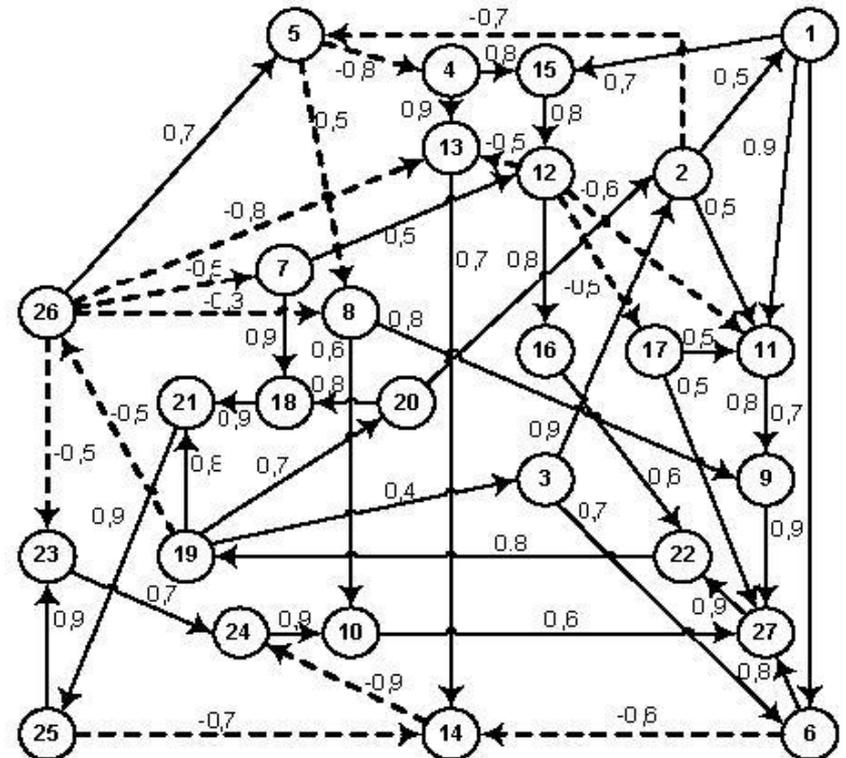
На рис. 2.2.Б был показан ациклический граф. Теперь также на типичном часто используемом примере перейдем к рассмотрению циклического знакового графа, показанного на рис. 2.3.



Путь в этом графе начинается с вершины "производство энергии" и пройдя через несколько вершин графа снова возвращается к вершине "производство энергии". Значение начальной переменной при проходе по дугам графа только со знаком + может быть сильно увеличено. В примере рис.2.3 увеличение производства энергии увеличивает число заводов, это увеличивает число рабочих мест, что в свою очередь увеличивает численность населения, оно увеличивает потребление энергии, последнее требует увеличения ее производства. Таким образом образуется положительная обратная связь, которая может значительно усилить первоначальное изменение. Если в знаковом графе есть несколько таких положительных циклов, это может привести к нестабильности системы, т.к. незначительное начальное изменение может привести к непредвиденному значительному скачку. Но в графе на рис. 2.3 есть и отрицательная обратная связь: повышение производства энергии ведет к ухудшению качества окружающей среды (через цену на энергию и ее потребление), что в свою очередь ведет к сокращению населения, сокращению потребления энергии и, в конечном счете, к сокращению ее производства. Отрицательные обратные связи часто ведут к стабилизации системы, однако они могут вызвать все большее и большее колебание системы, то есть к другой нестабильной ситуации.

Отрицательная или положительная обратная связь в системе может быть легко определена: в цикле существует положительная обратная связь тогда и только тогда, если в ней четное число знаков минус (или когда знаков минус нет)

№ п/п	Описание фактора
<b>Персонал</b>	
1	Квалификация персонала
2	Уровень корпоративной и инновационной культуры
3	Мотивация персонала
4	Творческая активность персонала
5	Сопротивление изменениям
6	Производительность труда
<b>Маркетинг</b>	
7	Качество маркетинговых исследований (непрерывный поиск новых рыночных предложений)
8	Качество маркетинга инноваций (текущего и на выходе)
9	Объем продаж новой продукции
10	Скорость выхода на рынок новой продукции
11	Качество новой продукции
<b>НИОКР</b>	
12	Уровень новизны разработок
13	Количество новых разработок
14	Сроки разработки новой продукции, создания и испытания опытного образца
15	Способность к инновациям в производственных процессах
16	Вероятность патентной защиты интеллектуальных разработок
<b>Предприятие</b>	
17	Синергия подразделений
18	Обеспеченность научно-технической и коммерческой информацией, наличие источников ее постоянного пополнения
19	Наличие долгосрочной стратегии (ориентация на долгосрочную перспективу)
20	Соответствие организационной структуры целям предприятия
21	Инвестиции в инновации
22	Конкурентоспособность предприятия
23	Гибкость перехода на новую продукцию
24	Выполнение плана по выпуску новой продукции
25	



## **Групповое построение когнитивных карт.**

Как всегда в принятии групповых решений проблема заключается в согласовании решений. Исключением является вариант, когда лидер принимает решение, а остальные участники выработки решения выступают фактически в роли советчиков без права решающего голоса. При построении когнитивных карт такое согласование сводится к трем вопросам:

*Согласование списка концептов;*

*Согласование отношений причинности между ними;*

*Согласование значений отношений причинности.*

Для решения всех этих вопросов могут быть использованы хорошо известные процедуры работы с экспертами, в частности, процедуры голосования или формализованные процедуры, которые будут описаны позднее.

Какая бы процедура не использовалась, в результате должен быть получен список концептов (вершин знакового графа), список отношений причинности (дуг графа) и список значений отношений причинности каждой дуги. Таким образом, задача сводится к построению когнитивной карты ЛПР (в данном случае коллективным ЛПР).

# Оценка ситуации и возможности принятия решений с помощью когнитивных карт

При разработке метода когнитивных карт он предназначался (и во многих случаях используется сейчас) для поддержки принятия решений. Однако многие считают его только хорошим вспомогательным средством для уяснения структуры возникшей проблемы: определения факторов, характеризующих или влияющих на проблему (концепты), определения связей между ними (отношения причинности) и уяснения характера связей (значений отношений причинности).

Рассмотрим когнитивную карту как средство поддержки принятия решения.

В этом случае возникают три проблемы.

1. Проблема оценки решений. Если в когнитивной карте есть несколько переменных (концептов), определяющих различные варианты решений, естественно встает вопрос: какие переменные (т.е. решения) должны быть приняты и какие отброшены?

Естественно принять те решения, которые дают лучший положительный эффект и отбросить дающие отрицательный эффект.

2. Проблема предвидения последствий принятия решения.

а) Если значение некоторых переменных будет увеличено, а некоторых уменьшено, что произойдет со значением остальных переменных.

Необходимо пересчитать граф. Если все входящие в вершину дуги (вернее, пути) положительные, то результат положительный. Можно даже говорить о суммарном положительном воздействии.

Если все входящие в вершину дуги (пути) отрицательные, то результат отрицательный.

Можно говорить даже о сумме отрицательных влияний. Наконец, если часть дуг, входящих в вершину положительна, а часть отрицательна, то результат оценить сложнее: он промежуточный.

в) Каковы будут последствия изменения знака у одной из переменных?

Для решения вопроса необходимо пересчитать, когнитивную карту.

Оценки производятся так же, как в случае а).

с) Каковы будут последствия, если исключим, некоторые переменные и ввести другие?

Для этого необходимо фактически сгенерировать новую когнитивную карту. Естественно ее придется пересчитать.

3. Объяснение результатов и принятие решения

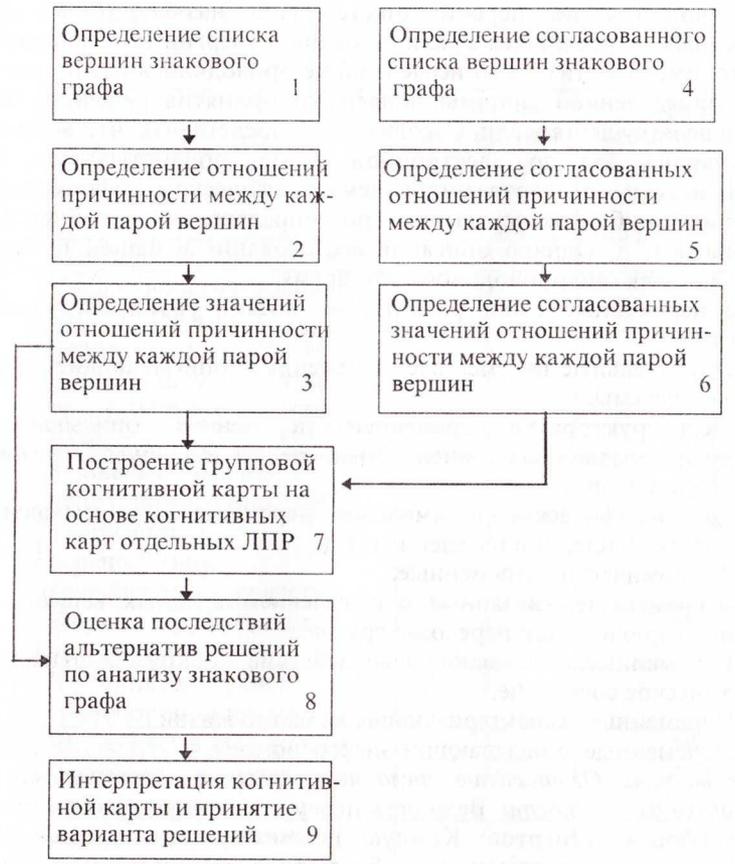
Применение когнитивных карт, как правило, требует для принятия решения дополнительного анализа и интерпретации.

Таким образом, процесс использования когнитивных карт

принятия решений можно представить в виде схемы, показанной

рис.2.4.

Построение когнитивной карты



### **.3. Экспертные системы.**

Метод когнитивных карт, рассмотренный в разделе 2.2, позволяет перечислить действия (операции), которые могут оказать влияние на проблему. Перечисляя эти действия, он рассматривает их как атомарные, неделимые. В действительности, они в большинстве случаев состоят из некоторой последовательности шагов, которые могут быть выполнены при определенных условиях.

Определение последовательности шагов в соответствии со сложившимися условиями может быть выполнено экспертной системой.

Являясь вполне самостоятельным средством в системе поддержки принятия решений, она может эффективно взаимодействовать с когнитивными картами.

Экспертные системы (ЭС) сформировались в самостоятельное научное направление в начале восьмидесятых годов на основе исследований по искусственному интеллекту.

Цель создания экспертных систем заключается в разработке программ, которые, используя знания, полученные от специалистов в данной предметной области, решают те задачи, которые являются для них сложными. Являются эти специалисты (отсюда и название: ЭС).

Экспертные системы, использующие эвристические знания, применяются в тех случаях, когда сформировать решение задачи в традиционных математических терминах в виде систем уравнений не удастся. Такие задачи получили название плохо формализованных задач. Эти задачи обладают одной или несколькими из следующих особенностей [2.8]:

- задачи не могут быть заданы в числовой форме;
- цели не могут быть выражены в терминах точно определенной целевой функции;
- не существует алгоритмического решения задачи;
- алгоритмическое решение существует, но его нельзя использовать из-за ограниченности ресурсов вычислительных машин.

Экспертные системы отличаются от систем обработки данных тем, что в них в основном используется символьный, а не числовой способ представления, символьный вывод и эвристический поиск решения [2.8].

Перечисленные свойства экспертных систем позволяют использовать их для генерации решений, основанных на эвристических знаниях и предпочтениях эксперта или руководителя (НИР).

Предметом теории экспертных систем служат методы и приемы конструирования человеко-машинных систем, "компетентных" в некоторой узкоспециальной области.

Эта компетентность состоит из "знания" конкретной области, понимания задач из этой области и из умения решать некоторые конкретные задачи в этой области [2.9].

Уже отмечалось, что для всех наиболее успешных применений экспертных систем характерна по крайней мере одна общая черта: они работают в одной ограниченной предметной области.

Попытки расширить предметную область, даже в пределах одной области знаний (например, в медицине) в подавляющем большинстве случаев успеха не давали [2.10].

Именно в силу такой ограниченности экспертных систем они еще не нашли эффективного применения в тех прикладных областях, которые требуют широкого кругозора. В этом случае приходится идти на создание группы экспертных систем, каждая из которых решает свою узкую задачу по своим критериям оптимальности, а при выработке комплексного решения эти частные решения должны быть согласованы. Таким образом создается распределенная

система поддержки принятия решения

Экспертная система (или несколько экспертных систем) может находиться на своем узле связи, взаимодействуя через локальную сеть с другими экспертными системами.

Таким образом может достигаться параллелизм в работе экспертных систем и ускорено принятие комплексного решения.

## Семантические сети.

- **Семантической сетью** называется структура данных, определяющая целостный образ
- некоторой системы в виде сети, узлы которой соответствуют понятиям и объектам,
- а дуги — отношениям между объектами. Изначально семантическая сеть была задумана
- как модель представления структуры долговременной памяти в психологии, но впоследствии
- стала одним из основных способов представления знаний в инженерии знания.
- Слово «семантика» определяется как значение, смысл слова, художественного
- произведения, действия, обстоятельства и т. д., переданные с помощью каких-либо
- представлений, символов и выражений. Семантика – это наука, устанавливающая
- отношения между символами и объектами, которые они обозначают, т.е. наука,
- определяющая смысл знаков.
- В зависимости от типов связей, используемых в модели, различают
- *классифицирующие сети, функциональные сети, сценарии.*
- **В классифицирующих сетях** используются отношения структуризации. Такие сети
- позволяют в базах знаний вводить разные иерархические отношения между
- информационными единицами.
- **Функциональные сети** характеризуются наличием функциональных отношений.
- Их часто называют вычислительными моделями, т.к. они позволяют описывать процедуры
- "вычислений" одних информационных единиц через другие.
- **В сценариях** используются каузальные отношения, а также отношения типов
- "средство – результат", "орудие – действие" и т.п.
- **Если в сетевой модели допускаются связи различного типа, то ее называют**
- **семантической сетью.**

- Различным модификациям семантических сетей присущ ряд сходств:
- узлы семантических сетей представляют собой концепты (понятия) предметов, событий, состояний;
- различные узлы одного концепта относятся к различным его значениям;
- дуги семантических сетей определяют отношения между узлами-концептами (пометки над дугами указывают на тип отношения);
- Отношения между концептами представляют собой временные, пространственные, логические отношения, также лингвистические падежи, такие как агент, объект, реципиент, отношения между предложениями и другие; Концепты организованы по уровням иерархии в соответствии со степенью обобщенности.

Поиск решения в базе знаний сводится к поиску фрагмента сети, соответствующего поставленному вопросу. Предложение (вопрос) на естественном языке формализуется в виде фрагмента семантической сети. Его поиск проводится в сети по известным из вопроса значениям узлов. Затем по найденному в сети фрагменту определяют неизвестные узлы, и полученный участок сети переводят на естественный язык.



**Теория фреймов** – это неформальная модель представления знаний в вычислительных системах. Впервые предложена американским ученым М.Минским в 1972 году как попытка построить модель человеческой памяти и объяснить феномены восприятия информации и понимания. Другая цель построения этой модели – это попытка сконструировать базу данных, содержащую энциклопедические знания, в особо структурированной и упорядоченной форме. Минский разработал такую схему хранения знаний, в которой информация содержится в ячейках, называемых фреймами, объединенными в сеть, называемую системой фреймов. Фрейм объединяет в себе декларативную информацию о свойствах и структуре объекта, процедурную – операции и действия, реализующие реакции фрейма на внешние воздействия, и целевую составляющую, определяющую назначение фрейма и применимость его в той или иной ситуации. В системе всегда существует активный фрейм, который в данный момент контролирует взаимодействие с внешней средой и отвечает за восприятие информации. Новый фрейм активизируется с наступлением новой ситуации и передачей ему управления от текущего.

•**Система фреймов и сеть поиска информации.** Группы семантически близких друг к другу фреймов объединяются в систему фреймов. Системы фреймов связаны между собой сетью поиска информации. Если базовый фрейм системы нельзя приспособить к реальной ситуации, то есть если не удастся найти такие задания терминалов, которые удовлетворяют условиям соответствующих маркеров, сеть поиска информации позволяет выбрать более подходящий для данной ситуации фрейм. Подобные структуры дают возможность использовать в системах фреймов различные методы представления информации, что имеет особое значение для разработки механизмов понимания.

Рассмотрим задачу поиска в сети фреймов: требуется найти образ объекта в памяти интеллектуальной системы. Это нужно, например, для того, чтобы определить неизвестные (в данный момент недоступные для восприятия) характеристики наблюдаемого объекта.

**Начальные условия:** известно (в отличие от задачи распознавания) к какому классу или фрейму-прототипу относится объект – поиск необходимо производить среди его экземпляров.

**Принцип действия:** осуществляется перебор, и сравниваются терминалы всех фреймов из области поиска и фрейма-образца, до тех пор, пока не выполнится критерий поиска.

Сравнение осуществляется присоединенной процедурой («демоном») текущего фрейма-экземпляра или фрейма-образца.

Преимущество фреймового поиска в скорости возникает за счет того, что общие терминалы фреймов сравниваются с атрибутами образца только один раз. Обработанный терминал маркируется:

- идентичен образцу;
- не идентичен образцу.

После нахождения подходящего фрейма осуществляется передача ему управления.

Вывод в сети фреймов более сложная процедура чем поиск. Началом вывода служит момент поступления новой информации, так как она поступает непрерывно, то и вывод в реальной интеллектуальной системе (у человека) – процесс непрерывный. В некоторый момент времени в интеллектуальной системе активен какой-либо фрейм, он и будет точкой отсчета для вывода. Вывод состоит в последовательном изменении фреймовой системы под влиянием внешних воздействий:

- передаче активности другому фрейму;
- изменении значений слотов (например, конкретизация значений по-умолчанию);
- изменении структуры системы (например, добавлении нового фрейма).

## Системы, основанные на правилах

В основе систем, использующих правила, лежат конструкции вида «Если ПОСЫЛКА то СЛЕДСТВИЕ», называемые правилами. В зависимости от того, что входит в ПОСЫЛКУ и СЛЕДСТВИЕ: логическая формула, высказывания, предикаты, лингвистические переменные, процедуры или функции; и от того в каком порядке правила выполняются – различают *продукционные системы, в основе которых лежат различного рода исчисления и программные продукты, использующие нечеткий вывод.*

Во всех случаях совокупность правил образует базу знаний.

Исчисление – формальная система, задаваемая четверкой  $\langle T, B, A, P \rangle$ , где  $T$  – множество базовых символов исчисления;  $B$  – синтаксические правила, с помощью которых из элементов  $T$  порождаются другие элементы;  $A$  – множество априорно истинных элементов ([аксиомы](#));  $P$  – множество семантических правил ([правил вывода](#)), с помощью которых из одних элементов системы порождаются другие. Правило вывода – правило, с помощью которого из множества [аксиом](#) порождается правильно построенные формулы, которые интерпретируются как истинные.

31. Для большинства методов, используемых на практике, может быть предложена достаточно общая математическая формулировка задачи:

имеется множество альтернатив

$$A = \{a_i, i = 1, N\}$$

и множество альтернативных решений, которое генерируется на первом этапе функционирования СППР (экспертами или компьютерной системой). Система генерации решений должна быть проблемно-ориентированной. В целом такие системы универсальными быть не могут.

«Физический» смысл множества альтернатив: диапазон очень разнообразный (от математических объектов до бизнес-программ).

$$C = \{c_j, j = 1, M\}$$

Имеется также множество критериев оценки

Задача формирования множества критериев и оценки их важности имеет самостоятельное значение и поэтому рассмотрим ее более подробно.

## Продукционные системы

*Продукционная система* отличается от других систем, основанных на правилах тем, что порядок выполнения правил здесь несущественен. Этот порядок находится под управлением стратегии вывода – совокупности правил, с помощью которых организуется выбор [правил вывода](#) правил вывода в [формальных системах](#) правил вывода в формальных системах или выбор [продукций](#) правил вывода в формальных системах или выбор продукций в [системе продукций](#) при

поиске решения. Наиболее известные стратегии в формальных логических системах – это [прямой вывод](#) прямой вывод и [обратный вывод](#).

Каждая продукция состоит из двух частей:

- условий (**антецедент**); в этой части определяются некоторые условия, которые должны выполняться в БД для того, чтобы были выполнены соответствующие действия;
- действий (**консеквент**); эта часть содержит описание действий, которые должны быть совершены над БД в случае выполнения соответствующих условий.

Продукционные системы, в которых сначала анализируется антецедентная часть (условия), имеют условно-выводимую архитектуру.

Альтернативным типом архитектуры, которая достаточно часто используется в экспертных системах, являются целе-выводимые (действие-выводимые или консеквент-выводимые) продукционные системы.

- **Продукционная система с консеквент-выводимой архитектурой**

**БД: А, F**

**Правило1:  $A \& B \& C \rightarrow D$ ;**

**Правило2:  $D \& F \rightarrow G$ ;**

**Правило3:  $A \& J \rightarrow G$ ;**

**Правило4:  $B \rightarrow C$ ;**

**Правило5:  $F \rightarrow B$ ;**

**Правило6:  $L \rightarrow J$ ;**

**Правило7:  $G \rightarrow H$ .**

**Задача – вывести истинность H**

## Методы структурирования множества альтернатив

Такие методы можно классифицировать различным образом. Прежде всего, и чаще всего эти методы делят на *критериальные* и *некритериальные*.

Критериальное структурирование основано на сопоставлении альтернатив по некоторому набору критериев.

Что же такое *некритериальные* методы структурирования?

Предположим у нас есть множество альтернатив. Будем выбирать из него пары, предъявлять их экспертам или ЛПР и просить их сравнить членов пары "в целом" (предполагается, что все альтернативы попарно сравнимы!). При этом эксплуатируется способность человеческого мозга создавать общее представление (мнение) о предмете. В психологии и, затем, в кибернетике такое общее представление обозначают термином "гештальт". Это - целостный образ объекта, лишенный какой бы то ни было детализации. Когда мы спрашиваем знакомого, какой город ему больше нравится, Москва или С-Петербург, не интересуясь, *почему* один из городов нравится больше - мы по существу просим знакомого выполнить сравнение гештальтов.

### Некритериальное структурирование множества альтернатив

Возьмем две альтернативы А и Б. При их парном сравнении возможны только 3

варианта результата:

- А лучше Б (будем обозначать это как  $A > B$ )
- А хуже Б ( $A < B$ )
- А и Б равноценны ( $A = B$ )

Если сравнить попарно все альтернативы исходного множества, то часто можно получить нестрогую ранжировку. Например, для множества  $\{a,b,c,d,e\}$  можно получить:  $c > d > a = e > b$ . или тот же результат с номерами рангов

№ ранга	альтернатива
1	c
2	d
3	a, e
4	b

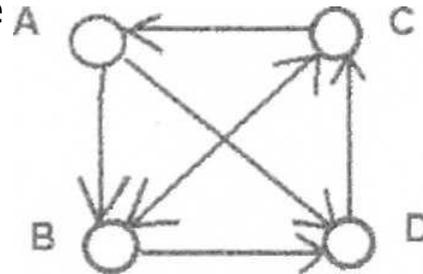
В итоге мы получили структурированное множество, не используя понятия "критерий".

Существует ли общий путь получения ранжировки на основе результатов парных сравнений?

Пусть есть множество альтернатив  $\{a, b, c, d\}$  и следующие результаты парных сравнений:

$a > b, b > d, c > a, a > d, b > c$ .

Эти результаты удобно представить в виде рисунка.



Существует более десятка способов преобразования подобных структур в ранжировку.

Рассмотрим один из наиболее часто применяемых способов, который называется "метод строчных сумм".

Для реализации метода, прежде всего, нужно построить таблицу парных сравнений. Для нашего примера она выглядит следующим образом.

	a	b	c	d	
a	***	1	0	1	2
b	0	***	1/2	1	1,5
c	1	1/2	***	0	1,5
d	0	0	1	***	1

На пересечении

строки и столбца ставятся числа по следующим правилам:

- ставится 1, если альтернатива с именем строки *лучше* альтернативы с именем столбца,

- ставится 0, если альтернатива с именем строки *хуже* альтернативы с именем столбца,

- ставится 1/2, если альтернатива с именем строки *равноценна* альтернативе с именем

столбца.

№ ранга    альтернатива

- 1                    •a
- 2                    •b, c
- 3                    •d

# Многокритериальные методы структурирования альтернатив

## 1. Классификация многокритериальных методов в соответствии с ролью ЛПР.

Методы. Основанные на построении решающего правила (функции выбора) с участием ЛПР. Решающее правило в виде функции ценности (полезности). Кривые безразличия и субъективное замещение. Многомерные функции полезности и поверхности безразличия. Стратегическая эквивалентность функций полезности. Предельный коэффициент замещения. Аддитивная функция полезности. Условия аддитивности и построение функции ценности для двух критериев. Обсуждение ситуации с тремя и большим числом критериев. Эвристические подходы к построению решающих правил. МАИ, метод Электра для выбора из конечного числа альтернатив.

## 2. Итеративные многокритериальные процедуры поиска наиболее предпочтительного решения.

Структура итеративных процедур. Две фазы итеративной процедуры. Прямое назначений весов, ограничений, целей и других параметров в итеративных процедурах. Структурированные и неструктурированные процедуры. Процедура Джоффриона-Дайера как пример структурированной процедуры. Возможности человека в итерационных процедурах. Требования, предъявляемые к итеративным процедурам: сходимости, простота вопросов к ЛПР, малое число итераций, устойчивость к ошибкам ЛПР.

### 3. **Основные типы итеративных процедур.**

Процедуры, основанные на назначении весов. Процедуры Зайонца-Валлениуса сжатия конусов весов. Процедуры, основанные на использовании ограничений. Процедура STEM.

Процедуры, основанные на назначении целей. Современные графические итеративные методы. Проекция на эффективное множество. Процедуры Корхонена-Лааксо. Бег по множеству Парето. Процедуры, основанные на визуализации двумерных сечений оболочки Эджворта-Парето.

### 4. **Традиционные методы представления эффективного множества совокупностью его точек.**

Построение эффективного множества для систем с конечным числом вариантов. Представление ЛПР совокупности эффективных точек. Трудности непосредственного выбора из большого списка альтернатив. Случай линейных систем. Нахождение всех эффективных вершин. Условие эффективности соседнего базиса. Построение эффективной грани. Представление ЛПР совокупности эффективных вершин. Методы представления эффективного множества для нелинейных систем. Использование сверток критериев, целевых точек и критериальных ограничений. Метод идеальной точки. Методы ограничений.

5. **Методы представления недоминируемого множества на основе сечений оболочки Эджворта-Парето.** Свойства двумерных сечений оболочки Эджворта-Парето. Диалоговые карты решений. Анимация карт решений. Метод достижимых целей для выпуклых систем. Построение решений. Метод достижимых целей для нелинейных систем. Визуализация системы конусов. Анализ возможностей выбора решения. Метод разумных целей для задач с конечным числом альтернатив. Визуализация выпуклой оболочки системы конечного числа вариантов. Обоснованный выбор цели и наложение ограничений. Методы выбора предпочтительных решений из совокупности вариантов. Примеры применения. Метод разумных целей для задач с бесконечным числом альтернатив.

# Критериальное структурирование множества альтернатив

Для решения задачи многокритериального структурирования альтернатив необходимо построить множество возможных альтернативных решений.

$$A = \{a_j : j = \overline{1, J}\}$$

множество критериев, по которым осуществляется оценка альтернатив

$$C = \{c_l : l = \overline{1, L}\}$$

на основе которых строится отображение  $\Gamma: A \rightarrow C$ ,

которое определяется на прямом произведении и задается матрицей

	$C_1$	$C_2$	...	$C_L$
$a_1$	$m_{11}$	$m_{12}$	...	$m_{1L}$
$a_2$	$m_{21}$	$m_{22}$	...	...
$M_{2L}$				
.....				
$a_J$	$m_{J1}$	$m_{J2}$	...	$m_{JL}$

# Формирование набора критериев и оценка их важности

- Пусть задано некоторое конечное множество вариантов (альтернатив) решений  $A$ . Из множества  $A$  или любого его подмножества  $X$  ( $X \in A$ ) необходимо выделить один или несколько вариантов решений в некотором смысле лучших или более соответствующих каким-либо заранее оговоренным условиям. Для решения этой задачи традиционно
- используется **критериально-экстремизационный** подход, который может быть описан следующим образом.
- Множество вариантов  $A$  проецируется на числовую ось, так что
- каждому варианту соответствует конкретная точка числовой оси. В одну и ту же точку может либо не может проецироваться более одного варианта. Числовая ось, на которую спроецировано множество вариантов  $A$ , называется шкалой. Сам процесс проецирования, т.е. приписывание элементам из  $A$  числовых значений, соответствующих точкам числовой оси, в которые они проецируются называется шкалированием. Если после такого проецирования упорядочить все варианты из  $A$  по величине приписанных им числовых оценок и сохранить за вариантами лишь их порядковый номер, то образованная таким образом шкала называется порядковой или ранговой.

- Если вариант считается тем «лучше» или тем более соответствующим заранее фиксированной цели выбора, чем большая ( или меньшая) числовая или ранговая оценка приписывается варианту, то шкала называется критерием для выбора или критериальной шкалой.
- Рассмотрим вариант  $x \in A$  и выразим его критериальную оценку т.е. числовое значение той точки шкалы, в которую вариант спроецирован через  $f(x)$ , некоторую функцию, заданную на всех вариантах  $x$  из  $A$  и имеющую числовые значения, определяемые критериальной шкалой.
- Такая функция и называется критерием.
- Таким образом, критерий это способ выражения различий в оценке альтернативных вариантов с точки зрения ЛПР .
- Выбор подмножества  $Y_A$  лучших вариантов из  $A$  по заданному критерию  $f(x)$  называется экстремизационным, если он осуществляется по правилу

- $$Y_A = \{y \in A / \bar{\exists} x \in A : f(x) > f(y)\} \quad (1)$$

$$Y_A = \{y \in A / \forall x \in A : f(y) > f(x)\}$$

То есть в  $Y_A$  включаются такие и только такие варианты, для которых в множестве  $A$  не существует вариантов, имеющих строго большую критериальную оценку.

Будем говорить, что задан набор или вектор критериев  $\{f(x)\} = \{f_i(x), \dots, f_n(x)\}$ , где  $i$  - номер критерия, а  $n$  - число критериев. Поскольку ситуация может описываться не одним, а несколькими критериями, возникла необходимость расширения представления о максимуме так, чтобы оно приводило к осмысленному выбору некоторого подмножества вариантов, лучших с точки зрения этого набора критериев. Для этого необходимо, чтобы неравенства в (1) выполнялись как векторные, то есть формулы (1) заменим формулами:

$$Y_A = \{y \in A / \exists x \in A : \{F(x) > F(y)\}\}$$

$$Y_A = \{y \in A / \forall x \in A : \{F(y) > F(x)\}\}$$

где соотношение  $\{F(x)\} > \{F(y)\}$  означает, что  $f_i(x) > f_i(y)$ ,  $\forall i \in \{1 \dots n\}$ .

Иногда знак  $>$  заменяется на  $\geq$  при дополнительном предположении, что хотя бы для одного  $i \in \{1 \dots n\}$  неравенство

$$f_{i^*}(x) > f_{i^*}(y)$$

сохраняется.

Такое видоизмененное правило в литературе называют правилом Парето.

## Желательные свойства набора критериев.

- Набор критериев
- должен быть: полным, действенным, разложимым, избыточным и минимальным.
- **Полнота набора критериев.** Набор должен охватывать все важные аспекты проблемы. Набор критериев является полным, если с его помощью можно показать степень достижения общей цели, то есть набор из  $n$  критериев полон, если зная значение  $n$ -мерного критерия, связанного с общей целью, ЛПР имеет полное представление о степени достижения общей цели. Заметим, что последнее определение не является конструктивным, а скорее дает некоторую идеальную меру полноты набора критериев.
- Видимо, не существует формального метода определения полноты набора критериев, но каждый на собственном опыте мог убедиться, что не учет какого-либо фактора или группы факторов приводил к неудаче проводимого мероприятия.
- **Действенность критериев.** ЛПР должен понимать смысл критериев и влияние их действий на обсуждаемую проблему. Критерии должны быть такими, чтобы их можно было объяснить другим, особенно в тех случаях, когда важнейшей целью работы является выработка и защита определенной позиции.

- **Разложимость.** Формальный анализ решения требует, чтобы было найдено количественное выражение как предпочтений руководителя (ЛПР) относительных последствий, так и его суждений о неоднозначно оцениваемых событиях. При использовании  $N$  критериев это означает, что необходимо построить (дать оценку)
- $N$ -мерную функцию предпочтения. Для задач с большим числом критериев полезно произвести декомпозицию задачи и разложить ее на подзадачи, каждая из которых содержит меньшее число критериев. То есть желательно, чтобы набор критериев был разложимым
- **Неизбыточность.** Критерии должны быть определены так, чтобы не дублировался учет одних и тех же аспектов решаемой проблемы,  
**Минимальная размерность.** Желательно, чтобы набор критериев настолько малым, насколько это возможно. Увеличение числа критериев приводит, с одной стороны, к анализу решаемой проблемы в более широком плане, с другой стороны, может сильно усложнить и запутать анализ, что приведет к ошибочности результатов. Первое желание ЛПР - указать как можно больше критериев, пытаясь связать каждый примитивный признак с самостоятельным критерием.
- Однако затем выясняется, что критерии необходимо ранжировать по их важности (значимости) с точки зрения ЛПР, а параметрические шкалы необходимо отображать в критериальные, увеличивая нагрузку на ЛПР. Кроме того, хорошо известно, что чем больше число критериев, тем большее число сравниваемых объектов попадает в категорию несравнимых. Поэтому возникает желание если не уменьшать число критериев (их учет может привести к серьезным искажениям оценки объекта), то во всяком случае не увеличивать их.

- Из сказанного видно, что формальные методы формирования набора критериев предложить трудно. Они очень сильно зависят от опыта и способности экспертов и, что чрезвычайно важно характера лица, принимающего решения. Один лидер в критической ситуации сжигает мосты, позволяющие отступить перед превосходящим противником, заставляя драться до конца, другой может наоборот, усилить переправы, давая возможность отойти и попытаться взять реванш в следующий раз.
- Система поддержки принятия решения должна предоставить ЛПР методы и средства для выявления критериев оценки объекта (обстановки, решения, действия и т.п.).
- Существуют различные способы представления критериев:  
**.списковые, графические, табличные и т.д.**
- Не вдаваясь в методы программного интерфейса, отметим, что в повторяющихся задачах они могут (и должны) быть представлены в меню с возможностью их расширения или сокращения. В задачах уникального типа может быть представлено большое число типовых критериев характерных для разнородных задач, из которых ЛПР выбирает нужные, либо дается возможность самому записать критерии, которые он считает нужными.
- Отметим еще раз, что набор критериев определяется только предпочтениями ЛПР. Критерии ЛПР могут резко отличаться от традиционных или общепринятых, и поэтому система поддержки принятия решений может только предложить ЛПР некоторый набор критериев, оставляя за ним решение об их выборе.

# Оценка важности критерия

- Определение значимости критерия (его "веса", важности) играет большую роль в формализованных процедурах формирования решения.
- Существует много методов оценки важности критериев, связанных главным образом с оценкой "весов" критериев.

Метод определения значимости критериев	Используемая информация
1. На основе опыта и знаний ЛПР	Опыт в аналогичных ситуациях и знания ЛПР
2. На основе критериального анализа ситуации, опыта и знаний	Оценка текущего и желательного состояния объекта по каждому критерию, опыт и знания
3. На основе критериального анализа ситуации, прогнозирования, опыта и знаний	Оценка текущего и желательного состояния объекта по каждому критерию, динамики объекта при нулевых управляющих воздействиях по каждому критерию, опыт и знания

- В первом случае использование вычислительной техники позволяет облегчить выбор критериев высвечиванием на дисплее списка возможных критериев. Критерии, которые с точки зрения ЛПР не имеют большого значения, вычеркиваются из списка, при отсутствии в списке необходимых критериев ЛПР может его

дополнить. Определение "веса" (значимости) каждого критерия не формализуется.

Факторы привлекательности рынка для мультифакторной модели бизнес портфеля. (Привлекательность рынка.)

критерии	Вес (0-1)	Продукт P1		Продукт P2		Продукт P3	
		Оценка (0-5)	ценность вес*оценка	Оценка (0-5)	ценность вес*оценка	Оценка (0-5)	ценность вес*оценка
C1 общий объем рынка	0,2	4	0,8	3	0,6	4	0,8
C2 показатель темпов роста в год	0,2	5	1,0	4	0,8	4	0,8
C3 маржа прибыли	0,15	4	0,6	3	0,45	4	0,6
C4 интенсивность конкуренции	0,15	2	0,3	4	0,6	3	0,45
C5 технологические требования	0,15	3	0,45	4	0,6	3	0,45
C6 влияние инфляции	0,05	4	0,2	5	0,25	4	0,2
C7 энергоемкость	0,05	4	0,2	4	0,2	4	0,2
C8 воздействие окружающей среды	0,05	3	0,15	4	0,2	4	0,2
C9 социальный/полити ческ ий/ юридический аспекты	***						
<b>итого</b>	1,0	29	3,7	31	3,7	30	3,7

- В предыдущем примере использовалась мультипликативная форма учета влияния важности критерия, т. е. соответствующая оценка критериального соответствия умножалась на вес критерия.
- Возможна экспоненциальная форма, когда оценка критериального соответствия возводится в степень, равную весу критерия.

- Для второго случая введем в рассмотрение два пространства **S** и **D** в пространстве критериев.
- **S** – это подмножество  $m$ - мерного Евклидова пространства ( $m$  – число критериев)  $S \in R$ , в котором желательно иметь значения критериев, характеризующих объект, т.е.  $S$  - это подмножество, в котором может быть найдено решение. В тех случаях, когда желаемое состояние задается координатами, а не интервалами, множество  $S$  может состоять из одной точки  $S_0$ .
- **D**-это множество точек в этом же пространстве  $D \in R^m$ , определяющих по оценкам ЛПР текущее состояние объекта, относительно которого принимается решение. Множество  $D$  может состоять из одной точки, обозначим ее  $d_0$ , если текущее состояние задается координатами а не интервалами. При таком подходе значимость, важность  $j$ -го критерия (его "вес") -  $K_j$  будет некоторой функцией от значений  $j$ -го критерия в областях  $D$  и  $S$ , обозначим их соответственно  $K_j^D$  и  $K_j^S$ .
- $K_j = \gamma_j F_j(K_j^D, K_j^S)$ , где  $K_j$  "вес", коэффициент значимости критерия, определяемый ЛПР как на основе его опыта и знаний, так и с учетом значения функции  $F_j$ . Определение значений  $\gamma_j$  рассмотрим позже.
- Возможные конкретные виды функции  $F_j$  - это разность  $K_j^S$  и  $K_j^D$ . показывающая насколько надо улучшить положение или их частное, показывающее во сколько раз надо улучшить положение.

- Поясним сказанное примером. Пусть текущий уровень доходов по десятибальной критериальной шкале оценивается как 7, а желательная оценка - 8. Критериальная оценка текущего уровня капиталовложений - 3, желательная оценка - 9.
- Тогда:
- $K_{\text{дох}} = \gamma_{\text{дох}} (K^S_{\text{дох}} - K^D_{\text{дох}}) = \gamma_{\text{дох}} (8 - 7) = 1 \gamma_{\text{дох}}$   
 $K_{\text{кап}} = \gamma_{\text{кап}} (K^S_{\text{кап}} - K^D_{\text{кап}}) = \gamma_{\text{кап}} (9 - 3) = 6 * \gamma_{\text{кап}}$
- Видимо, повышение уровня капиталовложений в данном случае актуальней, чем повышение доходности, поэтому  $K_{\text{кап}}$  должно быть выше, чем  $K_{\text{дох}}$ , хотя, конечно, не обязательно в 6 раз.
- Соотношение между  $K_{\text{дох}}$  и  $K_{\text{кап}}$  определяется ЛПР с помощью
- коэффициентов  $\gamma_{\text{дох}}$ ,  $\gamma_{\text{кап}}$ , а величины  $(K^S - K^D)$  являются ориентировочными для этого определения.
- Значения  $K_{\text{кап}}$  и  $K_{\text{дох}}$  в данном случае получаются ненормированными, что не всегда удобно. Для нормировки надо разделить полученное значение на максимальное значение шкалы, в данном случае десять.

- Для третьего случая введем еще одно подпространство  $H(t)$  в том же критериальном пространстве  $R^m$ . Это подпространство, к которому могут принадлежать значения критериев, характеризующих объект по оценкам ЛПР через время  $t$ , если на объект не подавать управляющих воздействий. Например, оценку экономики по критерию уровня инфляции ЛПР характеризует следующим образом: в настоящий момент -удовлетворительно, желательное состояние - хорошее, через время  $t$  (например 6 мес), если не подавать управляющих воздействий, она окажется в плохом состоянии. Таким образом, несмотря на
- относительное благополучие в настоящий момент, необходимо принимать энергичные меры.  
Если через  $K^{H(t)}_j$  обозначить значение, которое  $j$ -ый критерий примет через время  $t$ , то  $K_j$  станет уже функцией трех переменных:

$$K_j = \gamma_j F(K_j^D, K_j^S, K_j^{H(t)})$$

Возможны различные конкретные виды этой функции, например ,сумма разностей "весов" критериев  $K_j^S - K_j^D$  и  $K_j^D - K_j^H$  с соответствующими коэффициентами, поскольку чем больше сумма этих разностей, тем больше "вес" критерия:

$$K_j = \gamma_j [\alpha_j (K_j^S - K_j^D) + \beta_j (K_j^D - K_j^{H(t)})]$$

$$K_j = \gamma_j [\alpha_j (\frac{K_j^S}{K_j^D}) + \beta_j (\frac{K_j^D}{K_j^{H(t)}})],$$

- где  $\alpha_j$  и  $\beta_j$  коэффициенты, характеризующие относительную важность разности (частного)  $K_j^S, K_j^D$  и  $K_j^D, K_j^{H(t)}$ .
- Разность  $K_j^D - K_j^{H(t)}$  показывает, насколько ухудшится (или улучшится)
- оценка, если на объект не подавать воздействия. Аналогично, частное показывает во сколько раз ухудшится (улучшится) ситуация в этом случае.
- Заметим, что во многих случаях целесообразно сосредоточить внимание на наиболее важных критериях. Установив некоторый порог  $K_j \geq \text{const}$  ( $i=1,2,\dots$ ), можно определить набор наиболее значимых критериев, не учитывая остальные. Такой подход имеет место в кризисных ситуациях или когда критериев оказывается слишком много. Коэффициенты  $\alpha_j$  и  $\beta_j$  трудно определить на основе какой-либо процедуры (исключая, конечно, опрос эксперт) Однако они могут быть определены ЛПР в качестве лингвистических переменных: " $\alpha_j$  существенно больше  $\beta_j$ " или « $\alpha_j$  незначительно больше  $\beta_j$ " и т.д., что во многих случаях может быть сделано ЛПР, исходя из его субъективных представлений о важности динамической составляющей в оценке критериев.  
Эта оценка коэффициентов  $\gamma_j, j=1,2,\dots$  может быть выражена:
  - непосредственно в баллах;
  - - сравнением с некоторым некоторым базовым критерием (например, стоимостью);
  - попарным сравнением важности критериев.
  - Во всех случаях они могут выражаться в цифровой форме, графически на дисплее (например, высотой столбика или величиной сектора, характеризующими "вес" или сравнительный "вес критерия) или в форме лингвистической переменной, Определение "веса" критерия первыми двумя способами не создает существенных трудностей в работе с указанными ЛПР весами, но эти способы не всегда удобны ЛПР. Способ парных сравнений может быть более предпочтительным .

- «Здесь мы встречаемся с очень типичной для подобных ситуаций приемом- переносом произвола из одной инстанции в другую. Простой выбор компромиссного решения на основе мысленного сопоставления всех «за» и « против» каждого решения кажется слишком произвольным, недостаточно научным. А вот маневрирование с формулой, включающей(пусть столь же произвольно назначенные ) коэффициенты- совсем другое дело. Это у же наука. По существу никакой науки тут нет, и нечего себя обманывать» Вентцель Е.С.

- Классификация методов многокритериального выбора альтернатив.
- 
- Эффективность решения задачи во многом зависит от правильности подбора метода. Чтобы не ошибиться с выбором, нужно четко осознавать все особенности поставленной задачи и сопоставить их с возможностями и ограничениями методов, которые могут использоваться на первый взгляд. Сама задача была описана выше, поэтому перейдем к выбору метода. Первым шагом в этом будет классификация методов.

<i>n/n</i>	<i>Содержание информации</i>	<i>Тип информации</i>	<i>Метод принятия решений</i>				
	Экспертная информация не требуется		Метод доминирования Метод на основе глобальных критериев				
	Информация о предпочтениях на множестве критериев	Качественная информация Количественная оценка предпочтительности критериев Количественная информация о замещениях	Лексикографическое упорядочение Сравнение разностей критериальных оценок Метод припасовывания Методы "эффективность-стоимость" Методы свертки на иерархии критериев				

<i>n/n</i>	<i>Содержание информации</i>	<i>Тип информации</i>	<i>Метод принятия решений</i>
	Информация о предпочтительности альтернатив	Оценка предпочтительности парных сравнений	Оценка предпочтительности парных сравнений
	Информация о предпочтениях на множестве критериев и о последствиях альтернатив	Отсутствие информации о предпочтениях; количественная и/или интервальная информация о последствиях. Качественная информация о предпочтениях и количественная о последствиях Качественная (порядковая) информация о предпочтениях и последствиях Количественная информация о предпочтениях и последствиях	Методы с дискретизацией неопределенности Стохастическое доминирование Методы принятия решений в условиях риска и неопределенности на основе глобальных критериев Метод анализа иерархий Методы теории нечетких <b>множеств</b>  Метод практического принятия решений Методы выбора статистически ненадежных решений Методы кривых безразличия для принятия решений в условиях риска и неопределенности Методы деревьев решений Декомпозиционные методы теории ожидаемой полезности

## Линейная свертка критериев

Строится отображение множества альтернатив на множество критериев;

1. Каждой альтернативе присваивается некоторая оценка  $m_{ij}$ , определяющая степень соответствия  $i$ -ой альтернативы требованиям  $j$ -ого критерия
2. Нахождение интегральной оценки для каждой альтернативы по всему множеству критериев

$$S = \{s_i, i = 1, I\}$$

где  $s_i$  – интегральная оценка  $i$ -ой альтернативы по всему множеству критериев.

Эта задача может решаться в двух вариантах:

- полагается, что все критерии имеют одинаковую значимость (равноценны);
- критерии имеют различную значимость, следовательно, для каждого должен быть назначен вес

$$w_j, \sum_{j=1}^J w_j = 1 \qquad w_j = \frac{1}{J}$$

Решение задачи многоальтернативного выбора при прямом задании матрицы критериального соответствия  $M = \|m_{ij}\|$ .

- В случае прямого задания эксперты в заранее выбранной шкале назначают значение  $m_{ij}$  оценок:
- По числовой шкале ( $m_{ij} \in \text{Re}$ );
- По качественной (нечисловой) шкале.
- **Оценки критериального соответствия, заданные в числовой шкале.**
- В прямых методах построения матрицы критериального соответствия числовая шкала может быть любой. Наиболее удобными для экспертов являются шкалы, кратные 10 [0; 1], [1; 10], [1; 100]. Шкала [1; 100] при более высоком уровне квалификации экспертов дает возможность построить более различимые уровни градации. Выбор шкалы на алгоритмах анализа практически не сказывается.

	Очень хорошо (6)	Хорошо (4)	Среднее (2)	Плохо (0)	Очень плохо (-2)	Вес критерия	Программа P <sub>1</sub>	Программа P <sub>2</sub>	Программа P <sub>3</sub>	Программа P <sub>4</sub>
Вклад в покрытие постоянных затрат и прибыль						2	6/12	4/8	2/4	2/4
Затраты капитала в основные средства						0,5	2/1	4/2	6/3	4/2
в оборотные средства						0,5	4/2	2/1	4/2	6/3
Пригодность для НИОКР ноу-хау						1	2/2	4/4	6/6	-2/-2
Техническое исполнение						1	-2/-2	2/2	-2/-2	6/6
Пригодность для сбыта система маркетинга						2	6/12	4/8	6/12	4/8
Система распределения						2	6/12	6/12	4/8	6/12
Пригодность для производства наличие технологий						2	2/4	4/8	4/8	4/8



- Эффективность бизнеса

критерии	Вес (0-1)	Продукт P1		Продукт P2		Продукт P3	
		Оценка (0-5)	ценность вес*оценка	Оценка (0-5)	ценность вес*оценка	Оценка (0-5)	ценность вес*оценка
C1 доля рынка	0,1	4	0,4	4	0,4	3	0,3
C2 темпы роста доли рынка	0,15	2	0,3	3	0,45	4	0,6
C3 качество продукции	0,1	4	0,4	5	0,5	4	0,4
C4 репутация марки	0,1	5	0,5	4	0,4	4	0,4
C5 распределение продукции	0,05	4	0,2	3	0,15	4	0,2
C6 эффективность продвижения	0,05	3	0,15	4	0,2	3	0,15
C7 возможности производства	0,05	3	0,15	2	0,1	3	0,15
C8 эффективность производства	0,05	2	0,1	3	0,15	2	0,1
C9 расходы подразделения	0,15	3	0,45	2	0,3	3	0,45
C10 поставки материалов	0,05	5	0,25	4	0,2	3	0,15
C11 эффективность научных исследований	0,1	1.	0,3	5	0,4	4	0,4
C12 управленческий аппарат	0,05	2.	0,2	3	0,15	2	0,1
<b>Итого</b>	1,0	42	3,4	41	3,4	39	3,4

■ **Пример сетки предварительных оценок**

Критерий оценки	оценка			
	Очень высокая	высокая	низкая	Очень низкая
Тенденция рынка	Возникающий	Растущий	Стабильный	В стадии упадка
Срок жизни товара	10 лет и более	5-10 лет	3-5 лет	1-3 года
Скорость распространения	очень высокая	довольно высокая	низкая	очень низкая
Потенциал рынка (физический)	св. 10 000 тыс.	10000-5000 тыс.	500-1000 тыс.	до 100 тыс.
Потенциал рынка (денежный)	1 млрд. у.е.	1млрд.-500млн.	500-100 млн.	до 100 млн.
Потребность покупателей	не удовлетворяется	удовлет. Плохо	удов. хорошо	уд. оч. хорошо
Отношение торговцев	восторженное	позитивное	нейтральное	сдержанное
Потребность в рекламной поддержке	низкая, 0-2%	малозначимая, 2-5%	высокая, 5% плохая	очень высокая, св. 5%
Доступность рынка	очень легкая	легкая	средняя	очень плохая
«Притягательность» товара	очень высокая	высокая	слабые	слабая
Отличительные качества	эксклюзивность	значительные	сильная	простое
Степень конкуренции	очень слабая	слабая	до 1 года	копирован
Продолжительность эксклюзивности	св. 3 лет	1-3 года	слабая связь равна	ие («как все»)
Соответствие фирме	укрепляет фирму	хорошо	совмещаются	очень сильная
Цена	намного ниже	сочетается	с трудом	до 6 месяцев
Совместимость клиент- торговец	полная	немного ниже	конверсия	никакой связи
Адекватность торгового персонала	высокая	легко	возможн	выше
Уровень качества	значительно превосходит	совмещаютс я	а, но сложно	новый канал сбыта
		легко адаптируетс я	такой же	новый торговый персонал
		слегка превосходит		уступает

## Методы решения

- методы средней оценки: . Для каждой альтернативы рассчитывается средняя оценка по всему множеству критериев.

$$\bar{s}_i = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J m_{ij}$$

- Наилучшая оценка – имеет максимальное значение . Достоинством является простота метода.
- Недостатки: ошибки в определении оценок  $m_{ij}$  будут в явном виде сказываться на конечном результате;

$$\bar{s}_i = \lim_{J \rightarrow \infty} \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J m_{ij}$$

- множество критериев не может быть бесконечным;
- эксперт может корректно назначить оценки критериального соответствия для 7-10 критериев, далее вероятность ошибки в экспертных оценках очень быстро растет.

Эта схема, не всегда дает верный результат! В одной из классических строго доказано, что линейная свертка корректна только тогда, когда все критерии попарно независимы по предпочтению. Линейная свертка основана на неявном постулате: "низкая оценка по одному критерию может быть компенсирована высокой оценкой по другому". Однако, этот постулат верен отнюдь не для всех моделей сравнительной оценки "качества". Простейший пример -ухудшение качества изображения телевизора не может быть компенсировано улучшением качества его звука.

- На ограниченном множестве говорить о среднем значении некорректно. Применение формулы

$$\bar{s}_i = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J m_{ij}$$

- оправдывается тем, что все альтернативы находятся якобы в одинаковых условиях. На самом деле одинаковость условий здесь не гарантирована из-за того, что эксперт может знать одну альтернативу лучше, а другие – хуже. Для первого случая средняя оценка будет ближе к истинному среднему, а для второго – дальше.
- Метод среднего – один из способов фильтрации. Это означает, что резко выделяющиеся оценки, которые могут иметь существенное значение будут сглажены, следовательно, все альтернативы могут быть приведены к некоторому среднему уровню, т.е. принципиальные особенности альтернатив будут утрачены. Следовательно, все альтернативы получат приблизительно одинаковые оценки и принять решение в этом случае будет невозможно.

В одной из классических строго доказано, что линейная свертка корректна только тогда, когда все критерии попарно независимы по предпочтению.

Линейная свертка основана на неявном постулате: "низкая оценка по одному критерию может быть компенсирована высокой оценкой по другому". Однако, этот постулат верен отнюдь не для всех моделей сравнительной оценки "качества". Простейший пример -ухудшение качества изображения телевизора не может быть компенсировано улучшением качества его звука.

● Максиминный способ: для каждой альтернативы вычисляем оценку

$$s_i = \min_j \{m_{ij}\}$$

● Наилучшей может оказаться альтернатива, для которой  $\max \{s_i\}$ . В отличие от метода среднего этот метод не сглаживает результаты, а создает наихудшую оценку из всего множества оценок данной альтернативы. Есть большой недостаток: это метод осторожного наблюдателя или глубокого пессимиста, т.к. ориентирован на наихудший случай. Нахождение этого минимума – это нахождение оценки, хуже которой быть не может.

● Как правило, ориентация на наихудшую оценку влечет за собой неоправданные запасы (резервируются финансовые средства, могут создаваться материальные запасы). Резервирование излишних финансовых средств может уменьшить оборотный капитал фирмы; зарезервированные деньги теряют свою стоимость. Излишние материальные запасы – плохо ликвидные инструменты, их трудно реализовать, следовательно, их придется продавать со скидкой. Они занимают лишние площади, следовательно, лишние траты на аренду. Материальные запасы могут потерять свою потребительскую ценность и должны быть утилизированы.

● Минимаксные методы однобоки, т.к. по существу многокритериальную задачу они сводят к однокритериальной. Также эти методы не гарантируют решения задачи упорядочивания альтернатив. Вероятна ситуация, когда альтернативы по разным критериям будут иметь одинаковые минимальные оценки, следовательно, задача не имеет решения. Сравнение альтернатив будет проводиться по оценкам относящимся к различным критериям.

## Матрицы уступок

- По определению матрица  $M$  содержит оценки, принадлежащие шкале

$$m_{i,j} \in (x_{\min}, x_{\max})$$

$$x_{\min} \leq m_{ij} \leq x_{\max};$$

$$m_{ij} \rightarrow x_{\max}$$

Рассмотрим разность  $x_{\max} - m_{i,j}$  для произвольной  $i$ -альтернативы

Это те оценки, которые недобирает  $i$ -альтернатива до верхнего уровня или уступки  $i$ -альтернативы всем остальным.

На основе этой операции могут быть построены матрицы уступок: в исходной матрице  $M$  вычеркивается  $i$ -ая строка, соответствующая альтернативе  $a_i$ , а все остальные элементы матрицы  $M^{-i}$  вычисляются по формуле

$$M^{-i} = ||x_{\max} - m_{kj}||, k \neq i.$$

Элементы матрицы  $M^{-i}$  можно рассматривать как матрицу уступок остальных альтернатив альтернативе с номером  $i$ , и эти уступки определяются на всем множестве критериев.

- Очевидно, чем больше уровень, который будет уступлен той или иной альтернативе, тем лучше может считаться альтернатива. Наилучшая альтернатива та, которой все уступили в максимальном объеме.

$$x_{\max} - m_{kj} = \Delta_{kj}$$

$$M^{-i} = \|\Delta_{kj}\|, k \neq i$$

Вычислим сумму

$$s^{-i} = \frac{1}{I \times J} \sum_{kj} \Delta_{kj} = \frac{1}{I \times J} \sum_k \sum_j \Delta_{kj}$$

Очевидно, что наилучшая альтернатива будет иметь наибольшую оценку  $S^{-i}$

Надо вычислить все оценки  $S^{-i}$  и найти ту альтернативу, для которой эта оценка будет максимальной. К матрице  $M^{-i}$

можно применить и максиминную процедуру. В результате среди минимальных уступок определим наибольшую, которая будет соответствовать лучшей альтернативе. Если к матрице уступок добавить соответствующую строку с оценками данной  $i$ -альтернативы то новая матрица может рассматриваться как матрица собственных шансов  $i$ -альтернативы. Получим матрицу  $M^i$ , которую можно назвать матрицей собственных шансов. Очевидно, что наилучшей альтернативой будет та, у которой средняя оценка собственных шансов будет наибольшей.

- Если использовать максиминную процедуру, то наилучшей будет та, у которой эта оценка будет наибольшей. Применение этих двух методов позволяет при численных матрицах критериального соответствия различать даже достаточно близкие альтернативы, которые не различаются обычными методом среднего или максиминным методом.
- Особенностью всех рассмотренных методов является наличие рационального эксперта, который может дать точечные оценки критериального соответствия, т.е. возможные неточности экспертных оценок в данных методах в расчет не принимаются. В реальных ситуациях экспертные оценки являются приближенными, и степень неточности должна учитываться.

В теории принятия решений обобщенный критерий получил название "функция ценности" или "функция полезности".

Линейная свертка - простейший пример функции полезности. Таких функций разработано достаточно много. Есть, например, мультипликативная свертка. Она используется в моделях, основанных на постулате: "низкая оценка хотя бы по одному критерию влечет за собой низкое значение функции полезности" (вспомните пример с телевизором!). Записывается такая свертка следующим образом

$$S_i = \prod_{m_{ij} > 0} m_{ij}^{w_j}$$

$$m_{ij} > 0, \quad \sum w_j = 1$$

- В теории многокритериального анализа метод структурирования множества альтернатив (с учетом весов критериев или без него) принято называть "решающим правилом". Разнообразие решающих правил очень велико. Мы познакомились только с самыми простыми из них. В заключение этого рассмотрим одно из самых замысловатых решающих правил, родившееся в недрах известной французской школы математиков, возглавляемой Б.Рюа и получившее название "Метод Электра" "Электра" относится к редкому классу методов, использующих численные веса критериев, но не использующих функцию полезности.

Рассмотрим следующую таблицу.

	$\Gamma^+(x>y)$	$\Gamma^-(x=y)$	$\Gamma(x<y)$
a	x	x	x
b	y	y	y

Пусть сравниваются две альтернативы a и b. Пусть все веса  $\{w_1, w_2, \dots, w_m\}$  критериев есть положительные действительные числа и сумма этих чисел равна W. Разобьем все множество критериев на 3 группы.

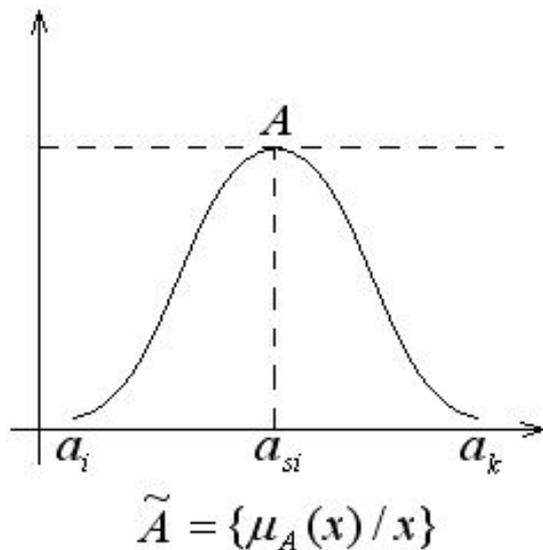
- В первую группу (обозначим ее  $I^+$ ) включим критерии, для которых а лучше b, т.е. оценки а больше оценок b ( $x > y$ ).
- Во вторую группу ( $I^-$ ), включим критерии, для которых справедливо  $x=y$ , наконец, в последнюю группу ( $I$ ), включим критерии, для которых  $x < y$ . Отметим, что вопрос происхождения весов критериев лежит за рамками метода. Важно также, что группа  $I$  не пуста, иначе можно было бы сразу сделать вывод, что  $a > b$ . Введем величину, называемую "индекс согласия" (имеется в виду согласие с тем, что  $a > b$ ) и определяемую как
  - $$c(a > b) = (1/W) \sum W_j,$$
- где сумма берется для всех критериев, входящих в группу  $I^+$
- Вторую величину назовем "индекс несогласия" и определим как
  - $$d(a > b) = (1/d_{\max}) \max (y_j - x_j) \text{ для всех } j,$$
- принадлежащих весам, входящим в группу  $I$ .
- Здесь  $d_{\max}$  - максимальный размах шкалы оценок по критериям. Например, если оценки выставляются в разных шкалах и максимальная шкала имеет 10 градаций, то  $d_{\max} = 10$ .
- Заметим, что для группы  $I$  справедливо  $y_j > x_j$  для всех  $j$ , поэтому разность  $(y_j - x_j)$  всегда положительна.

- Введем две константы: "порог согласия"  $p$  (величина, немногим меньшая 1), и "порог несогласия"  $q$  (величина, немногим большая нуля). И, наконец, определим, что будем считать альтернативу  $a$  предпочтительнее альтернативы  $b$  ( $a > b$ ) тогда и только тогда, когда справедливо:  $c(a > b)$  больше или равно  $p$  и одновременно  $d(a > b)$  меньше или равно  $q$ .  
Содержательно это означает, что мы принимаем альтернативу  $a$  предпочтительнее альтернативы  $b$  в том и только в том случае, когда удельная сумма весов критериев, для которых ( $a > b$ ) достаточно велика, а максимальное единичное превосходство второй альтернативы над первой достаточно мало. Пороги согласия и несогласия выбираются из содержательных соображений.
- В дальнейшем, при детальном анализе метода "Электра", у него выявились некоторые недостатки. Группа Руа совершенствовала метод. Появились методы "Электра II" и "Электра III".

*Многокритериальный альтернативный выбор при неопределенности  
критериальных оценок соответствия*

- Говоря о неопределенности, мы выбираем форму этих оценок и математический аппарат, соответствующий ей. Существует три варианта:
- теория вероятностей;
- интервальные вычисления;
- нечеткие множества (мягкие вычисления).
- Теория вероятностей не может быть корректно применена из-за того, что экспертные оценки не подчиняются ее аксиоматике.
- Интервальные вычисления: некоторое число  $A$  определяется его двумя границами  $a_{\min}$  и  $a_{\max}$ . Все значения внутри интервала предполагаются равноправными. Существует интервальная математика. Главный недостаток этих методов – трудно принимать окончательное решение, особенно если интервалы являются пересекающимися.
- В задачах многокритериального альтернативного выбора интервальные вычисления не получили применения.

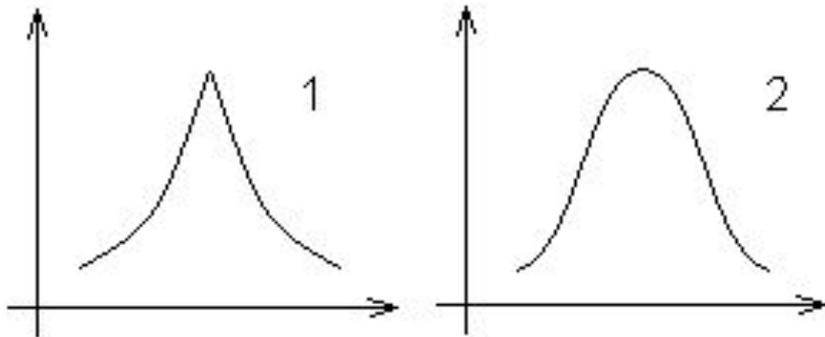
- Нечеткие множества похожи на интервальные. На интервале определения нечеткого числа задается функция принадлежности (ФП), характеризующая степень распределения принадлежности точек из области определения к данному нечеткому числу.
- Есть точка, которая соответствует максимальному значению ФП и определяет ожидаемое значение.
- Т.к. экспертные оценки нечетки, то использование нечетких чисел дает естественное представление экспертных оценок. Т.е. в матрице критериального соответствия эксперт имеет право задавать не точечные значения, а использовать оценки типа Эксперт должен определить соответствие ФП. Определение ФП может идти двумя путями:



1-эксперту предлагается допустимый набор, из которого он выбирает;

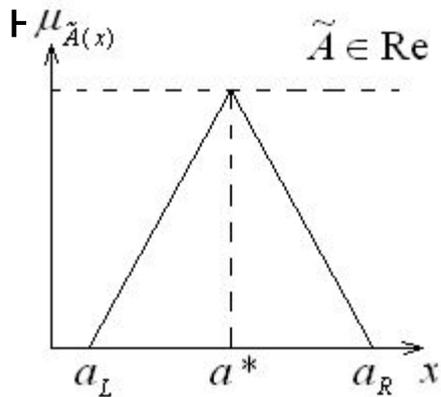
2-эксперт сам определяет вид ФП, который он считает подходящим для данной задачи. Иногда используют работу по умолчанию, когда выбирается какой-то определенный вид ФП.

- Эксперт может выбором ФП смоделировать свою степень уверенности в той или иной оценке:



1. эксперт более уверен в своей оценке;
2. эксперт менее уверен в своей оценке.

- Нечеткое число характеризуется левым  $a_L$ , правым  $a_R$  и центральным  $a^*$  значениями. На интервале определения нечеткого числа задана ФП, которая может быть произвольной формы, но должна удовлетворять определенным требованиям.
  - Если оценки критериального соответствия заданы нечеткими числами, то все рассматриваемые методы для точечных числовых оценок остаются в силе. Использование нечетких чисел ослабляет эффект сглаживания, который имеет место при нахождении средней оценки. Резкие отклонения оценок от некоторого среднего уровня в случае использования нечетких чисел частично будут проявляться в итоговых результатах, следовательно, для нечетких чисел может быть получено разделение/упорядочивание даже достаточно близких альтернатив. Отсутствие эффекта сглаживания можно рассматривать как положительный момент использования нечетких чисел.
- Применение нечетких чисел создает определенные трудности при сравнении конечных результатов.

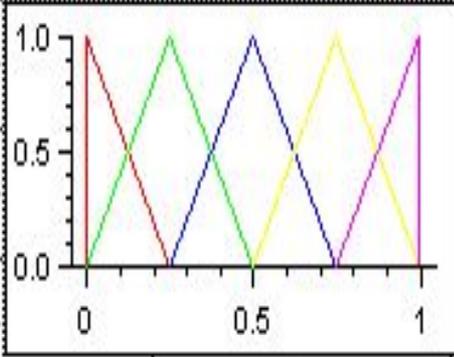
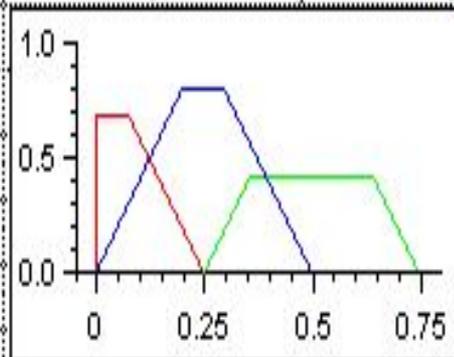


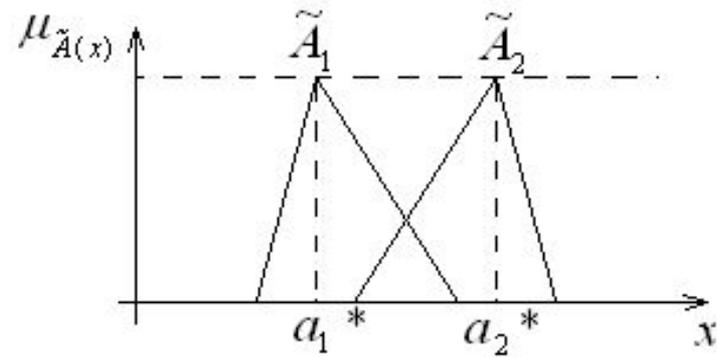
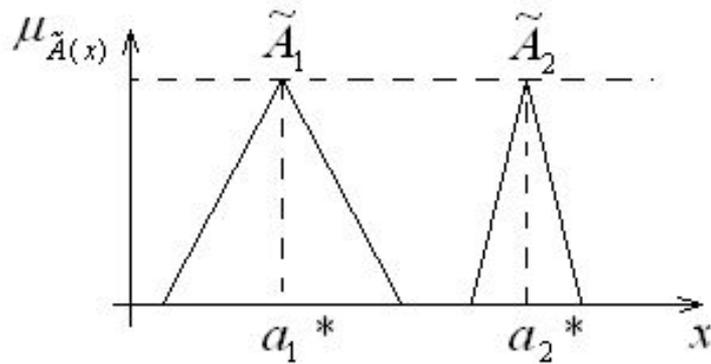
Факторы привлекательности рынка для мультифакторной модели бизнес портфеля.

- Таблица 5.2
- Привлекательность рынка.

критерии	Вес (0-1)	Продукт P1		Продукт P2		Продукт P3	
		Оценка (0-5)	ценность вес*оценка	Оценка (0-5)	ценность вес*оценка	Оценка (0-5)	ценность вес*оценка
C1 общий объем рынка	0,2	4	0,8	3	0,6	4	0,8
C2 показатель темпов роста в год	0,2	5	1,0	4	0,8	4	0,8
C3 маржа прибыли	0,15	4	0,6	3	0,45	4	0,6
C4 интенсивность конкуренции	0,15	2	0,3	4	0,6	3	0,45
C5 технологические требования	0,15	3	0,45	4	0,6	3	0,45
C6 влияние инфляции	0,05	4	0,2	5	0,25	4	0,2
C7 энергоемкость	0,05	4	0,2	4	0,2	4	0,2
C8 воздействие окружающей среды	0,05	3	0,15	4	0,2	4	0,2
C9 социальный/политич еск ий/ юридический аспекты	***						
<b>итого</b>	1,0	29	3,7	31	3,7	30	3,7



31	Введение нечеткости				
32	Малый	ниже среднего	Средний	Выше среднего	Большой
33	▶ 0.0732233 ▶	▶ 0.25 ▶	▶ 0.5 ▶	▶ 0.75 ▶	▶ 0.926777 ▶
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40	Малый с уверенностью, равной 0.7		Средний с уверенностью, равной 0.43		Ниже среднего с уверенностью, равной 0.8
41	▶ 0.0852919 ▶		▶ 0.5 ▶		▶ 0.25 ▶
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					



Сравнение двух альтернатив:

- по максимуму;
- по координате центра тяжести

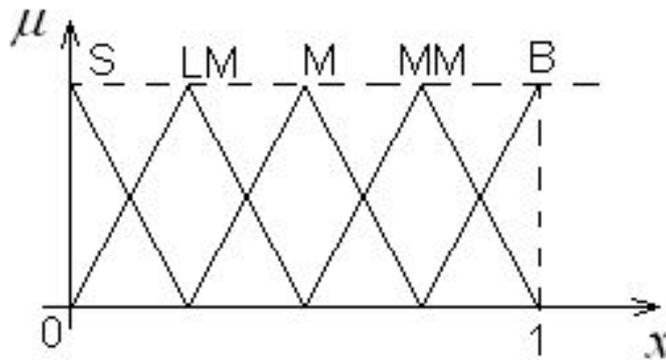
$$a_2^* > a_1^* \Rightarrow \tilde{A}_2 \boxtimes \tilde{A}_1$$

В случаях, когда в результате расчетов появляется многоэкстремальные функции, ситуация становится более сложной, следовательно, оценки по максимуму ФП становятся явно недостаточными.

В случае применения нечетких чисел, когда оценки по максимуму ФП или по координате центра тяжести не дают однозначного результата, следует использовать еще одну оценку – **мощность соответствующего нечеткого множества.**

- Для экспертов, если речь идет о новых альтернативах, для которых недостаточно опыта, вместо числовых оценок более удобны качественные оценки (в виде словесных утверждений). Можно договориться о том, что оценки критериального соответствия имеют следующие градации:
  - низкий – S;
  - ниже среднего – LM;
  - средний – M;
  - выше среднего – MM;
  - высокий – B.
- Для таких оценок могут быть построены соответствующие ФП:

В этом случае матрица критериального соответствия будет содержать нечеткие оценки



	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$a_i$	S	M	B	LM
$a_j$	LM	MM	S	B

»Задача: найти интегральную оценку по всему множеству критериев и на основе этой оценки провести ранжирование альтернатив.

»Самый простой вариант решения – подход, основанный на использовании операции пересечения. Пусть для  $a_i$  есть множество лингвистических оценок  $l_{ik}$ , а для  $a_j$  –  $l_{jk}$ ,  $k = 1, K$ .

Для примера построена оценка  $z_i = \bigcap_{k=1}^K l_{ik}$  для  $a_i$   $z_j = \bigcap_{k=1}^K l_{jk}$

Или  $z_i = \bigcap_{k=1}^K \mu_{lik}(x)$  и  $z_j = \bigcap_{k=1}^K \mu_{ljk}(x)$

$$l_{i1} = S \qquad l_{j1} = LM$$

$$l_{i2} = M \qquad l_{j2} = MM$$

$$l_{i3} = B \qquad l_{j3} = S$$

$$l_{i4} = LM \qquad l_{j4} = M$$

Операция  $\bigcap$  (пересечения) формализуется операцией нахождения минимума.

Следовательно  $z_i = \min_k \{\mu_{lik}(x)\}$  и  $z_j = \min_k \{\mu_{ljk}(x)\}$

- Обе оценки  $z_i$  и  $z_j$  – тоже нечеткие множества. При построении интегральных оценок возможны два варианта:
- в результате построения пересечения получается непустое нечеткое множество. В случае получения непустых оценок можно переходить к задаче сравнения нечетких множеств, которые представляют эти оценки;
- итоговая оценка представляет собой пустое множество. Если первоначальная интегральная оценка представлена пустым

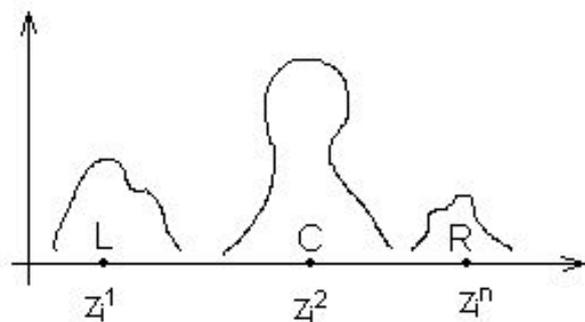
множеством, то решение найдено быть не может.

Всю совокупность оценок для каждой альтернативы разбивают на группы т.о., чтобы эти группы давали не пустые пересечения.

$a_i$  (LM, S), M, B

$a_j$  (LM, S), (MM, B)

Это возможно потому что операция пересечения коммутативна



Каждая оценка  $z_{iq}$  – нечеткое множество.

- В общем случае все эти оценки не пересекаются, хотя не исключается возможность и пересекающихся оценок. Из этой совокупности частных оценок нужно построить интегральную оценку.
- ФП нечеткого множества можно рассматривать как совокупность материальных точек, массы которых равны единице, а координатами этих точек будут соответствующие значения аргументов и ФП  $\{x_i, \mu(x_i)\}$

Любая система материальных точек может быть представлена обобщенной характеристикой в виде координат центра тяжести

$$CG(x) = \frac{\sum \mu(x) \cdot x}{\sum \mu(x)} \quad \text{и} \quad CG(\mu) = \frac{\sum \mu(x) \cdot x}{\sum x}$$

Эти характеристики могут быть рассчитаны для всех частных оценок

$$z_i^1 \rightarrow CG_1(x), CG_1(\mu);$$

$$z_i^2 \rightarrow CG_2(x), CG_2(\mu) \dots$$

Эти координаты могут быть использованы при построении интегральной оценки

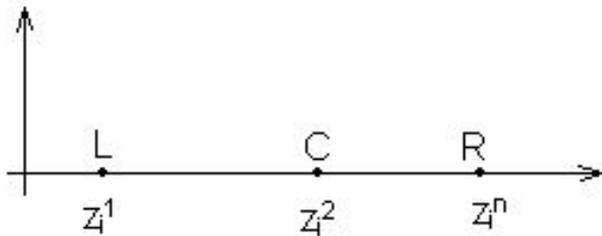
- Эти координаты могут быть использованы при построении интегральной оценки

$$L(z_i) = \min_n [CG_n(x)]$$

$$R(z_i) = \max_n [CG_n(x)]$$

$$C(z_i) = \frac{\sum CG_n(x)CG_n(\mu)}{\sum CG_n(\mu)}$$

В результате расчетов получили три точки:  $L(z_i), C(z_i), R(z_i)$ .



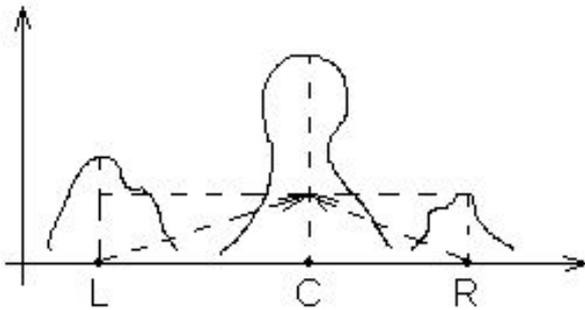
Определение значения ФП в точке  $C(z_i)$

можно выполнить тремя способами, которые будут отражать отношение аналитика/эксперта к ситуации в задаче:

- 1- пессимистичный вариант;
- 2 - оптимистичный вариант;
- 3- уравновешенный вариант.

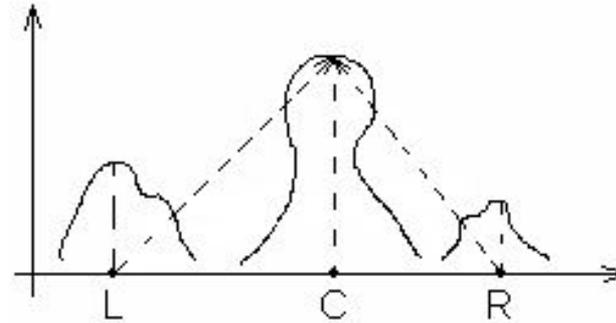
• 1). Пессимистичный вариант.

$$\mu[C(z_i)] = \min_n [CG_n(\mu)]$$



2). Оптимистичный подход.

$$\mu[C(z_i)] = \max_n [CG_n(\mu)]$$



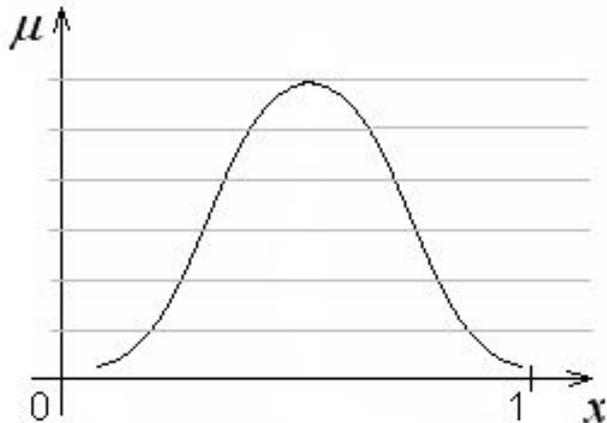
3). Уравновешенный вариант.

$$\mu[C(z_i)] = \frac{1}{n} \sum CG_n(\mu) \quad \text{– обычное среднее}$$

$$\mu[C(z_i)] = \mu(CG(z_i)) = \frac{\sum CG_n(x)CG_n(\mu)}{\sum CG_n(x)} \quad \text{– среднее взвешенное}$$

## СРАВНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

- Задача нетривиальная, т.к. наряду с перечислением элементов, в нечетких множествах появляется еще один параметр – значение ФП. Если взять классические множества, перечисляемые множества, т.е. множества, в которых мы можем перечислить элементы, принадлежащие этому множеству, а также перечисляемые множества ограничить классом конечных множеств, где число элементов конечно, то по определению мощность множества – это число элементов, принадлежащих данному множеству. Такое определение объясняется тем, что нет различий в степени принадлежности элементов к данному множеству. У них у всех степень принадлежности равна единице.
- В теории нечетких множеств такой подход недостаточен, поскольку просто суммировать элементы множеств с различными степенями



**Расчет взвешенной мощности** основан на операции  $\alpha$ -разбиения нечеткого множества. Определено на универсальном множестве  $[0; 1]$ . Это ограничение не имеет принципиального значения – методика расчета остается неизменной.

- Выбор  $\alpha$ -уровней может производиться либо аналитиком/экспертом, либо, как правило, эти уровни получаются автоматически. В памяти компьютера ФП будет храниться как дискретный двумерный массив  $\{\mu(x_i), x_i\} \quad i = 1, N. \quad \mu(x_i) = \alpha$

Для  $\alpha$ -разбиения известно определение  $\alpha$ -уровневого множества: если

$\tilde{A} = \{\mu_{\tilde{A}}(x) / x\}$ , то подмножеством уровня  $\alpha$  нечеткого множества  $\tilde{A}$  будет множество элементов  $A_{\alpha_i} = \{x_{\alpha_i}, \mu(x_{\alpha_i}) \geq \alpha_i\}, x_{\alpha_i} \in \tilde{A}$

таких, что значение соответствующей ФП больше или равно  $\alpha_i$ .

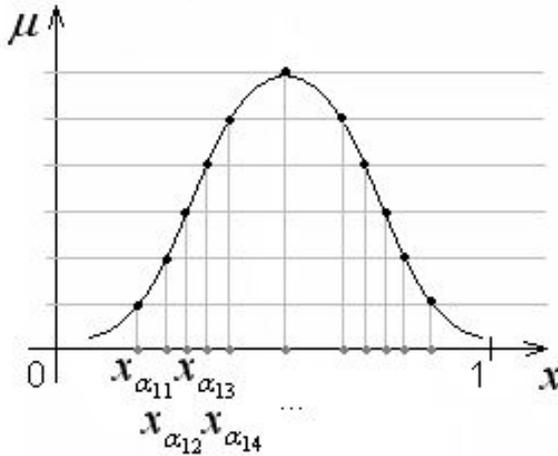
Для каждого уровня  $\alpha_i$  рассчитывается соответствующая мощность:

$$W(\alpha_i) = \frac{\sum x_{\alpha_i}}{n_{\alpha_i}}$$

$x_{\alpha_i}$  – значение аргумента ФП, принадлежащее множеству  $A_{\alpha_i}$ .

$n_{\alpha_i}$  – число элементов, принадлежащих  $\alpha_i$ -разбиению

- При расчете мощности  $\alpha_i$ -разбиения в данном случае используется значение аргумента, ее называют еще взвешенной мощностью. Наличие в знаменателе  $n\alpha_i$  связано с тем, что выбор  $\alpha$ -уровней может повлиять на конечный результат расчетов, что нежелательно.
- Разбиение может быть иным, соответственно результаты на одном и том же множестве будут разные.
- Величина относится к конкретному  $\alpha$ -уровню, а интегральная мощность  $W$  по всем уровням определяется:



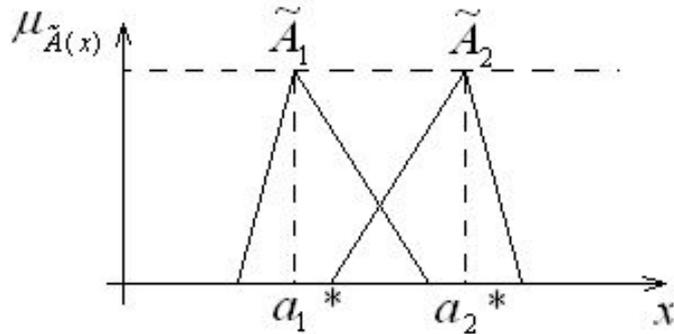
$$W = \frac{1}{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}} \int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} W(\alpha_i) d\alpha \quad W = \frac{1}{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}} \sum_{i=1}^N W(\alpha_i) d\alpha_i$$

где  $d\alpha_i = \alpha_i - \alpha_{i-1}$

Множитель  $d\alpha_i$

должен присутствовать при вычислении интеграла, дает эффект: позволяет компенсировать влияние выбора  $\alpha$ -уровней на конечный результат расчета.

- Если взвешенную мощность мы посчитаем для двух множеств, которые мы должны сравнивать. Считается, что более предпочтительным будет множество с большим значением мощности



$$\tilde{A}_2 \boxtimes \tilde{A}_1$$

$$W(A_2) > W(A_1)$$

К сожалению, этот метод не всегда дает убедительные результаты в том смысле, что в определенных случаях различия между значениями мощностей альтернатив приближается к погрешности расчетов.