

# Системный анализ в профессиональной деятельности

Москва 2022

# Раздел IV.

## Процедуры системного анализа

- В общей теории систем различают 6 основных процедур, с помощью которых осуществляется процесс исследования системы:
  - целеполагание
  - вскрытие системности
  - декомпозиция
  - агрегирование
  - измерение
  - выбор
- При этом если о содержании первой и четырёх последних процедур более-менее можно судить по названию, то название второй процедуры – *вскрытие системности* – ново и пока малоинформативно

# 11. Целеполагание

# Постановка задачи

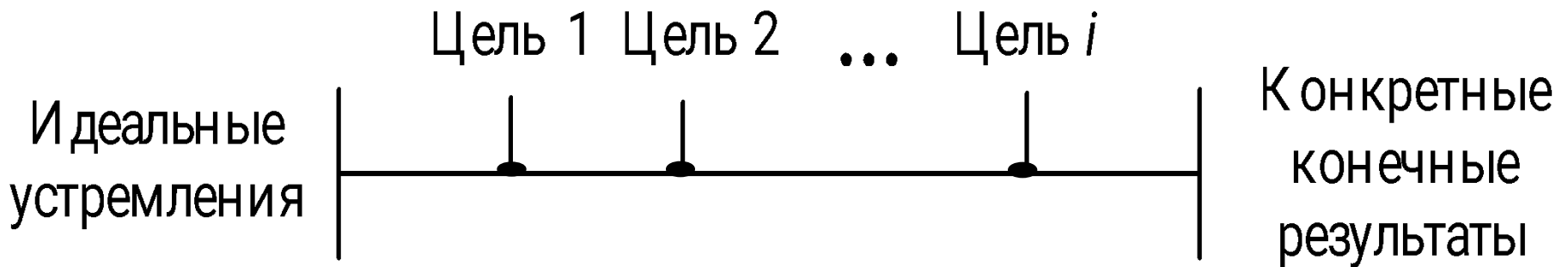
- Развитие системы только тогда имеет смысл, когда оно сопряжено с целью
- В рамках настоящей лекции попытаемся найти ответы на следующие вопросы:
  - .. как осуществляется целеполагание
  - .. какие методы и средства при этом используются
  - .. какие сложности сопровождают этот процесс и как с ними бороться

# Целенаправленное развитие

- Задумав создать систему, субъект должен заложить в нее желаемую концепцию развития, т.е. осуществить *целопологание* или *целеуказание*
- Развитие естественной системы также целенаправленно, однако мы не всегда можем постичь истинную (внешнюю) цель этого развития
- Целенаправленное развитие системы реализуется посредством соответствующего управления, которое представляет собой некоторое «насилие» над системой

Замечание: развитие естественной системы – это не что иное как целенаправленное движение к равновесному состоянию, достижение которого составляет ее внутреннюю цель

# Диапазон изменения значений цели



Замечание: независимо от способа задания цели она должна побуждать активные элементы к созидательной деятельности

# Пример задания цели

- Конкретная цель экономической системы обычно формулируется в терминах, описывающих желаемое конечное состояние системы
- Например, стратегическом плане некоторого университета может быть записано следующее: довести число направлений подготовки до 17, ежегодный объем выпуска студентов до 25 тысяч и обеспечить рост публикационной активности профессорско-преподавательского состава не менее чем на 33 процента»
- Т.е. цель университета на конец планового периода задается с помощью 3-х параметров состояния <число направлений подготовки, объем выпуска, индекс роста публикационной активности>, которые должны достигнуть значений <17 направлений, 25000 выпускников, 33 процента>

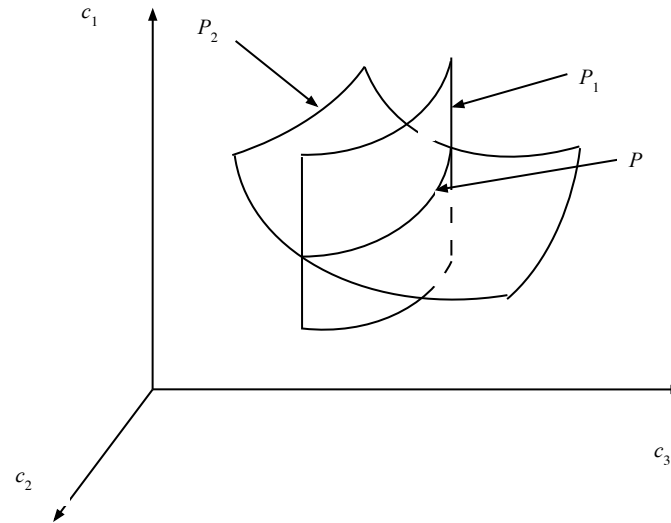
# Ценностно-ориентированные системы

- Когда неопределенность состояний системы очень высока и невозможно параметризовать желаемое будущее, цель системы увязывают с тенденциями ее развития, выражающуюся через категорию *ценность*
- В отличие от целеориентированных систем, где важен результат достижения некоторого заданного состояния, в ценностно-ориентированных системах существенен сам процесс и направление действий, описываемые, как правило, качественными критериями
- Пример ценностно-ориентированной системы – творческий коллектив, проводящий фундаментальные научные исследования

Замечание: *если цель задана абстрактно, то бессмысленно говорить о выборе траектории ее достижения – можно лишь выбрать направление развития системы*



# Геометрия целеполагания



Условные обозначения:

$c_1, c_2, c_3$  - контролируемые параметры состояния системы

$P_1, P_2$  – поверхности, отражающие требования системы

$P$  – линия пересечения поверхностей  $P_1$  и  $P_2$ , описывающая состояния системы одновременно удовлетворяющая оба требования

# Область достижимости

- Для фиксации цели как конечного состояния чрезвычайно конструктивным является понятие «*область достижимости*»
- Область достижимости это множество всех предельных состояний системы, которые система может достигнуть при наилучшем управлении
- Это понятие положено в основу концепции *рационального планирования*, которая формулируется следующим образом: цель экономической системы следует назначать как можно ближе к границе области достижимости

*Замечание:* на практике очень часто цель преднамеренно располагается внутри области достижимости, заведомо предполагая невысокую эффективность функционирования системы

# Важность установления факта достижения цели

- В реальной жизни далеко не всегда точно выполняются запланированные требования к конечному состоянию системы
- Не редко из-за неверной идентификации текущего состояния системы и ошибок в выборе управляющих воздействий траектория системы не попадает в целевую область, а проходит вблизи от нее
- Тогда требуется своевременно принять решение о прекращении выполнения задачи, поскольку в дальнейшем независимо от предпринимаемых управленческих воздействий система будет отдаляться от цели

*Замечание: установление факта достижения цели в первую очередь важно для систем, для которых достижение конечной глобальной цели вытягивается в цепочку решения ряда последовательных задач – полет к МКС, реинжиниринг предприятия, реструктуризация отрасли*

# Правила целеполагания

- При назначении цели лучше ограничиться незначительным числом существенных требований к системе. Это позволит постоянно контролировать развитие системы и периодически корректировать ее фактическую траекторию с помощью управляющих воздействий, если она отклонилась от плановой
- Чем выше значимость факта достижения цели, тем меньше следует принимать в расчет оптимистические прогнозы относительно попадания системы в область достижимости
- При формулировании цели системы как последовательности частных задач большое внимание следует уделять своевременности принятия решения о достижении промежуточной цели и переходе к следующему этапу движения к глобальной цели: задержка может привести к дополнительным ресурсным издержкам или поставить под сомнение успех предшествующих действий, а преждевременное решение не позволит воспользоваться плодами достигнутого

# Структурирование целей

- В экономических и других системах с активными элементами цели, как правило, формируются внутри системы
- .. первоначально цель рождается в сознании руководителя как некая размытая область
- .. далее в процессе обсуждения с сотрудниками цель подвергается детализации и трансформируется в набор упорядоченных (или неупорядоченных) подцелей
- Задача формирования глобальной цели в сложных экономических системах сводится к ее пошаговому структурированию, конкретизации и детализации
- Постепенно вырисовывающаяся структура коллективно формируемой цели позволяет достичь одинакового ее понимания и интерпретации всеми участками процесса целеполагания

# Сетевые формы структурных целей

- Структурную цель системы задают, как правило, в форме сетевой или древовидной структуры
- Сетевое представление последовательности подцелей требует хорошего знания исследуемой системы, специфики ее функционирования и технологии продуцирования конечных результатов
- Иногда сетевая целевая структура может формироваться постепенно: по мере достижения одних подцелей формируются последующие, располагающиеся в направлении глобальной цели

Замечание: поэтапное целеполагание применяется тогда, когда по каким-то причинам руководитель не уверен в возможностях вверенного ему коллектива и вынужден каждый раз корректировать ближайшие цели

# Древовидные формы структурных целей

- Построение дерева целей составляет одну из ключевых задач системного анализа
- Формирование дерева целей может проводиться по принципу «сверху-вниз» (структуризация, декомпозиция, целевой подход), либо по принципу «снизу-вверх» (морфологический метод, тезаурусный подход)

Любая промежуточная вершина дерева целей может рассматриваться в двух ракурсах:

- .. как цель для зависящих от нее вершин нижестоящего уровня
- .. как средство достижения цели вершины вышестоящего уровня

*Замечание: цели системы, как и сама система, обладают свойством эмерджентности и представляют собой нечто большее, чем простая сумма подчиненных подцелей*

## Рекомендации по формированию древовидных целевых структур

- При построении дерева целей необходимо следить
  - .. чтобы на каждом уровне (страте) дерева сохранялась целостность цели
  - .. чтобы разбиение каждой вершины на составляющие было соразмерным
  - .. чтобы признаки декомпозиции (структуризации) в пределах одного уровня были одинаковыми, а элементы декомпозиции независимыми
  - .. чтобы число элементарных целей детализирующих цель вышестоящего уровня, а также число уровней дерева целей были соизмеримыми с числом Колмогорова ( $7 \pm 2$ )
- По мере перехода с верхнего уровня на нижний происходит смещение от цели-идеала к конкретным целям
  - .. на нижних уровнях иерархии цели могут приобретать вид ожидаемых результатов с указанием критериев их оценок
  - .. на верхних уровнях – цели могут формулироваться в общих чертах без указания критериев

*Замечание: целевые древовидные структуры могут характеризоваться слабой иерархией, т.е. содержать разрывы (нестрогую зависимость) между вершинами соседних уровней*



# Форсайт-методология целеполагания

- Объединяет десятки известных экспертных методов «заглядывания в будущее»

| № п/п | Название метода            | Английский эквивалент   |
|-------|----------------------------|-------------------------|
| 1.    | Библиографический анализ   | Bibliometical analysis  |
| 2.    | Мозговой штурм             | Brainstorming           |
| 3.    | Метод Дельфи               | Delphi                  |
| 4.    | Экспертные панели          | Expert paneis           |
| 5.    | Разработка будущего        | Futures workshop        |
| 6.    | Сценирование               | Scenarios               |
| 7.    | Выделение ключевых трендов | Key technologies        |
| 8.    | Анализ глобальных трендов  | Megatrend analysis      |
| 9.    | SWOT -анализ               | SWOT analysis           |
| 10.   | Картирование стейкхолдеров | Stakeholder mapping     |
| 11.   | Картирование технологий    | Technology roadmapping  |
| 12.   | Многокритериальный анализ  | Multi-criteria analysis |

# Сценирование как метод форсайта

- Предполагает разработку нескольких развернутых картин будущего
- Каждый сценарий представляет собой некоторый целостный текст, выстроенный вокруг определенного предположения – плоттерной точки
- Сценарий обязательно должен включать
  - .. артефакты будущего (ожидаемые)
  - .. сценарные развилки
  - .. предсказания
  - .. проекты
- В отличие от классического прогнозирования, которое строится на выявлении всех возможных последствий текущей ситуации, сценирование *прожективно*

# Картирование технологий как метод форсайта

- Объединяет широкий класс интеллектуальных методик, позволяющих прогнозировать развитие технологий
- Конечным результатом картирования технологий выступает *технологическая дорожная карта* или *схема маршрутизации технологий*, которые визуализируют план-сценарий технологического развития
- Обязательными атрибутами плана-сценария являются *точки критических решений*, которые обозначают радикальные расхождения в содержании потенциально возможных технологий будущего

Замечание: в отличие от ясного маршрута движения к цели, получаемого в результате традиционного линейно-сценарного прогнозирования, дорожная карта допускает, что движение к намеченной цели может осуществляться по разным маршрутам, предполагая, что в каждый текущий момент времени существует возможность маневра (кардинальной смены маршрута)

## Технологические платформы как удачный пример реализации форсайт-методологии целеполагания

- Технологические платформы представляют собой организованные профессионально-ориентированные площадки, где встречаются представители бизнеса, науки и государства с целью выработки дорожной карты развития определенного направления прикладных технологий
- В результате активных коммуникаций акторы (участники технологической платформы) приходят к согласованному мнению относительно того какие научные разработки актуальны, какие из них можно начинать финансировать, кого из внешней среды необходимо «завлечь» в платформу
- Каждая технологическая платформа призвана сформировать технологическую базу для новых производств или расширения линейки продуктового ряда данного технологического направления

*Замечание: в настоящее время в Минэкономразвития зарегистрировано и более-менее успешно функционируют порядка 40 технологических платформ*

## Основная особенность форсайт-методологии целеполагания

- Для обоснованного целеполагания, а тем более выбора рациональной траектории движения и цели необходимы согласовать действия всех участников (акторов)
- Для такого согласования используются специфические формы сетевого планирования
- Получаемый в рамках форсайт-проекта план не статичен, он постоянно меняется и корректируется, опираясь на созданную дорожную карту
- Нормальное движение по дорожной карте возможно только тогда, когда каждый актер реализует свою часть действий и постоянно «подталкивает» к аналогичным действиям других акторов

## Резюме

- Рассмотренная проблематика целеполагания не оставляет никаких сомнений относительно многоликости и сложности этой процедуры системного анализа
- Отмеченные здесь общие принципы, закономерности и специфика составляют основу для разработки инструментария целеполагания, который все время развивается

## Темы для рефератов и эссе

- Методики построения дерева целей.
- Государственные целевые программы.
- Ценностно-ориентированные системы.
- Технологические платформы

# 12. Вскрытие системности



## Постановка задачи

- Необходимо доказать принадлежность образования (явления, процесса) к классу систем посредством обнаружения, фиксирования взаимозависимостей их элементов и установления контуров обратных связей как одного из основных атрибутов системности
- Объединенные в единое целое обнаруженные и «выписанные» контуры обратных связей образуют причинно-следственную модель или модель внутренней динамики исследуемой системы

# Язык системных диаграмм

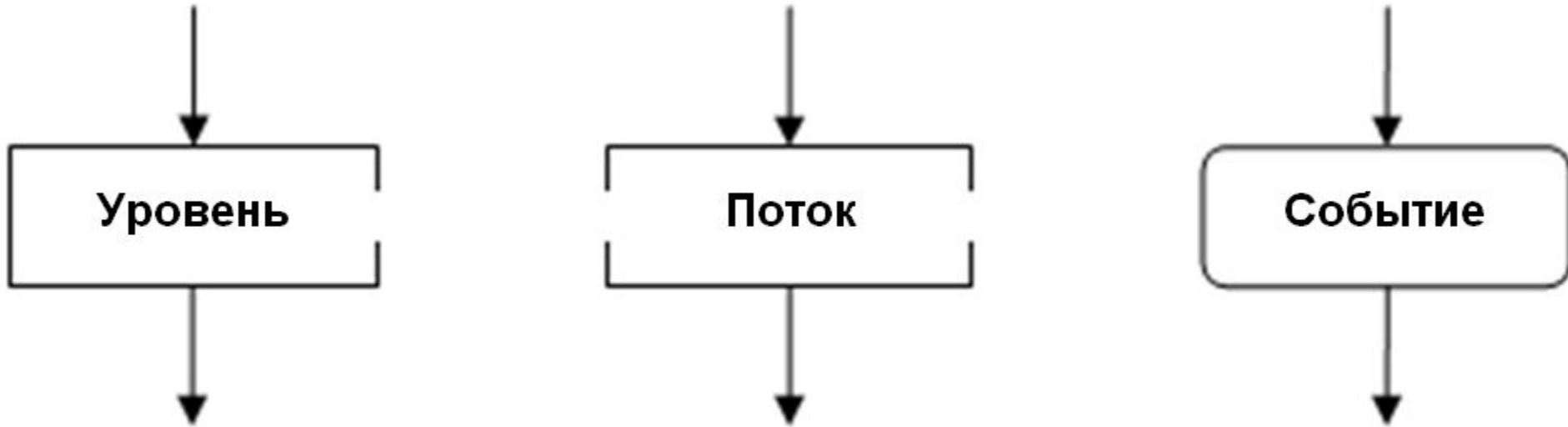
- Представляет собой набор графических и языковых конструкций для описания взаимосвязей элементов и/ или переменных системы
- Включает три типа элементов
  - уровень
  - поток
  - событие

и три вида отношений между элементами

- усиливающая связь
- уравнивающая связь
- нейтральная связь

Предположение: сюда «направляется» еще и четвертый вид связей – упреждающая связь - но пока не придуманы способ и правила ее формализованного отображения

## *Базовые конструкции системных диаграмм*



Замечание: на системных диаграммах связи с базовыми конструкциями могут осуществляться и через боковые стороны

## Уровень

- Используется для фиксации количества накапливающего вещества, энергии, информации, знаний или др. субстанции в определенных местах контуров обратной связи
- Ассоциируется с открытым сосудом, уровень содержимого которого может изменяться как в сторону увеличения, так в сторону уменьшения

Примеры: количество денег на счету, численность населения в стране, запасы рыбных ресурсов в водоеме, степень информационной вооруженности менеджера и др.

## ПОТОК

- Призван отображать изменение чего-либо во времени
- Используется для отображения мест преобразования ресурсов, энергии, информации и знаний в товары, услуги или др. ресурсы
- Примеры: коэффициент рождаемости, денежные расходы, скорость исчерпания ресурсов, интенсивность потребления и др.

*Замечание. Когда в модели внутренней динамики один поток связан с другим, то они изменяются пропорционально и в одном направлении (аналогично уровни). Но когда поток связан с уровнем, то пропорциональности изменения не наблюдается. Известно, что даже уменьшаясь поток будет повышать уровень.*

## Событие



- Используется для отображения характерных состояний исследуемой системы
- Не содержит никакой передаваемой по контуру субстанции
- Часто отражает новую точку отсчёта в жизненном цикле исследуемой системы
- Примеры: покупка-продажа актива, открытие кредитной линии, прекращение выпуска товара и др.

# Связи между элементами (переменными)


- **Усиливающая** (обозначается  $\oplus$ ). Считается, что один элемент оказывает усиливающее влияние на другой, если увеличение (уменьшение) первого ведет к большему увеличению (уменьшению) второго, чем в случае, когда первый элемент оставался бы неизменным
- **Уравновешивающая** (обозначается  $\ominus$ ). Считается, что один элемент оказывает уравновешивающее влияние на другой, когда увеличение (уменьшение) первого ведет к большему уменьшению(увеличению) второго, чем в случае, когда первый элемент остался бы неизменным
- **Нейтральная** (обозначается  $\odot$ ). Используется, когда изменения в последующем элементе контр. не поддается однозначной интерпретации его зависимости от предыдущего элемента, хотя между ними существует СВЯЗЬ

*Замечание: нейтральные связи представляют собой наиболее вероятные места приложения целенаправленных усилий по корректированию дальнейшего развития исследуемой системы*

# Пунктуация контуров

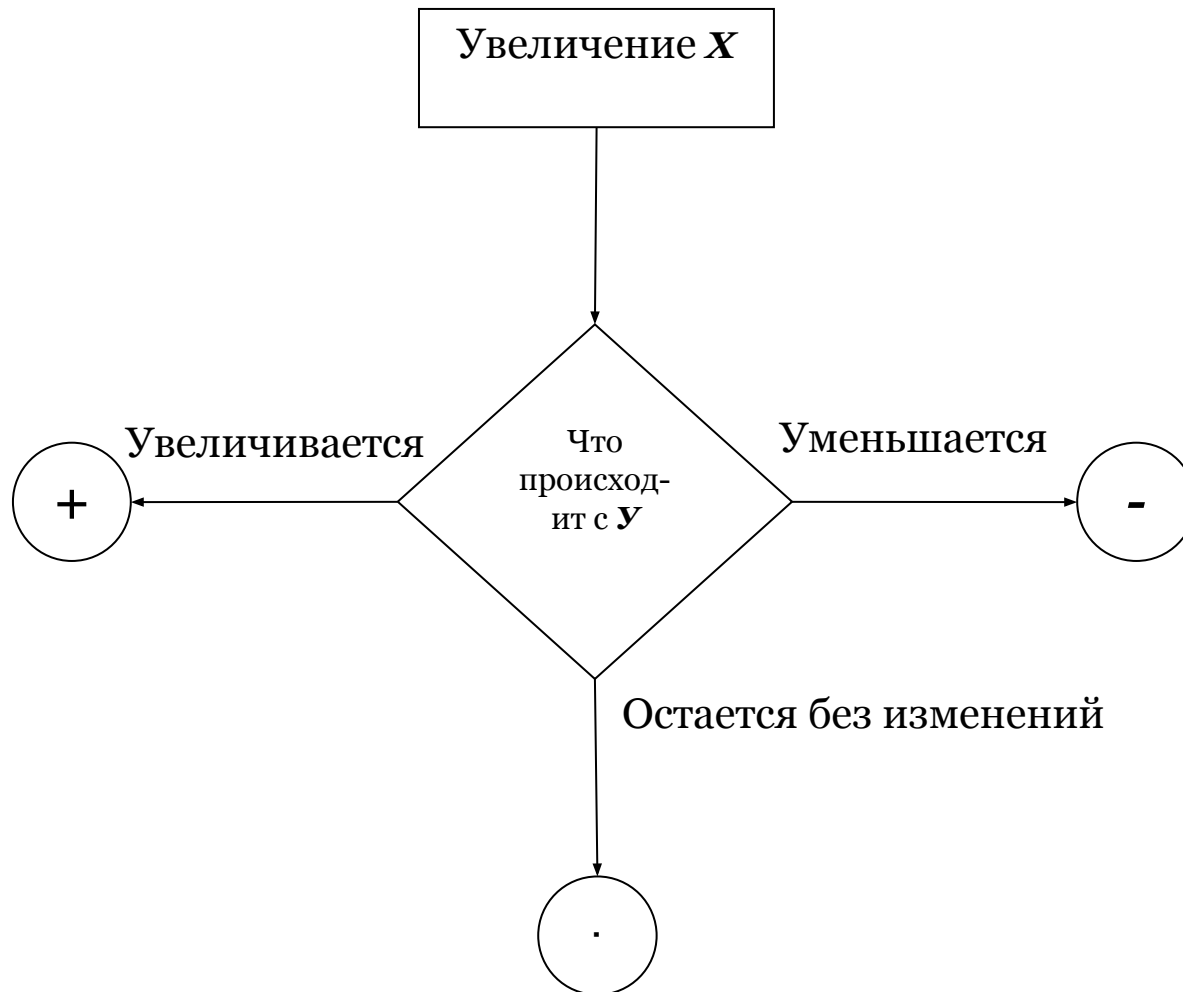
- Если общее число отрицательных связей четное – контур усиливающий, включая и тот случай когда отрицательных связей нет совсем
- Если общее число связей нечетное – контур уравнивающий
- Усиливающий контур обозначают значком , а уравнивающий – значком , которые проставляются в центре контура

Предостережение: необходимо помнить, что графическое отображение системных сюжетов – это только визуализация вашего личного опыта, «обнажающая» структуру ваших интуитивных представлений и создающая платформу для творческого решения проблемы

Замечание: связи, на которых возможны временные задержки отмечаются значком 



# Алгоритм определения характера связей



## НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

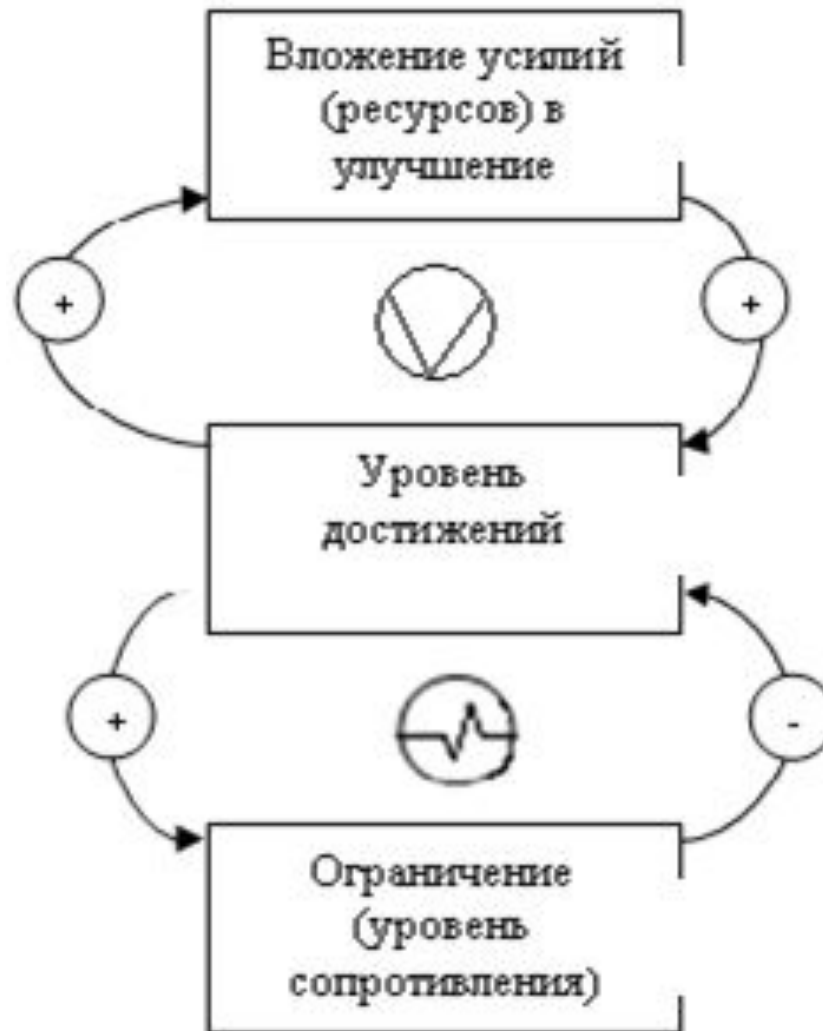
- **Системные архетипы** – похожие сюжеты, возникающие при исследовании различных систем
- **Паттерны** – закономерности, описывающие основные сочетания элементов в исследуемой системе, или наблюдаемые повторения в череде случайных событий (повторяющиеся события явный признак того, что они появились в результате действия некоторого системного механизма)
- **Ментальная модель** – представляет собой глубоко укоренившиеся в сознании идеи, верования, убеждения и т.п, посредством которых направляются действия субъекта

## Архетип «пределы роста»

- Каждому из вас приходилось попадать в ситуацию, когда, занимаясь новым делом, поначалу удавалось добиваться прекрасных результатов, а некоторое время спустя все как будто упиралось в стенку
- Вы начинали больше и упорнее работать, но получали далеко не пропорциональную отдачу
- Под конец приходилось «бежать изо всех сил» для того чтобы оставаться на месте
- Это архетип пределы роста: вначале чем больше усилий, тем лучше результат, чем лучше результат, тем больше энтузиазм, но затем путь к развитию успеха преграждает некий барьер, который проявляется тем сильнее, чем значительнее успех

Вывод: чем сильнее противодействует барьер, тем меньше эффективность первоначального действия

# Визуализация архетипа «пределы роста»



# Как противостоять архетипу «пределы роста»

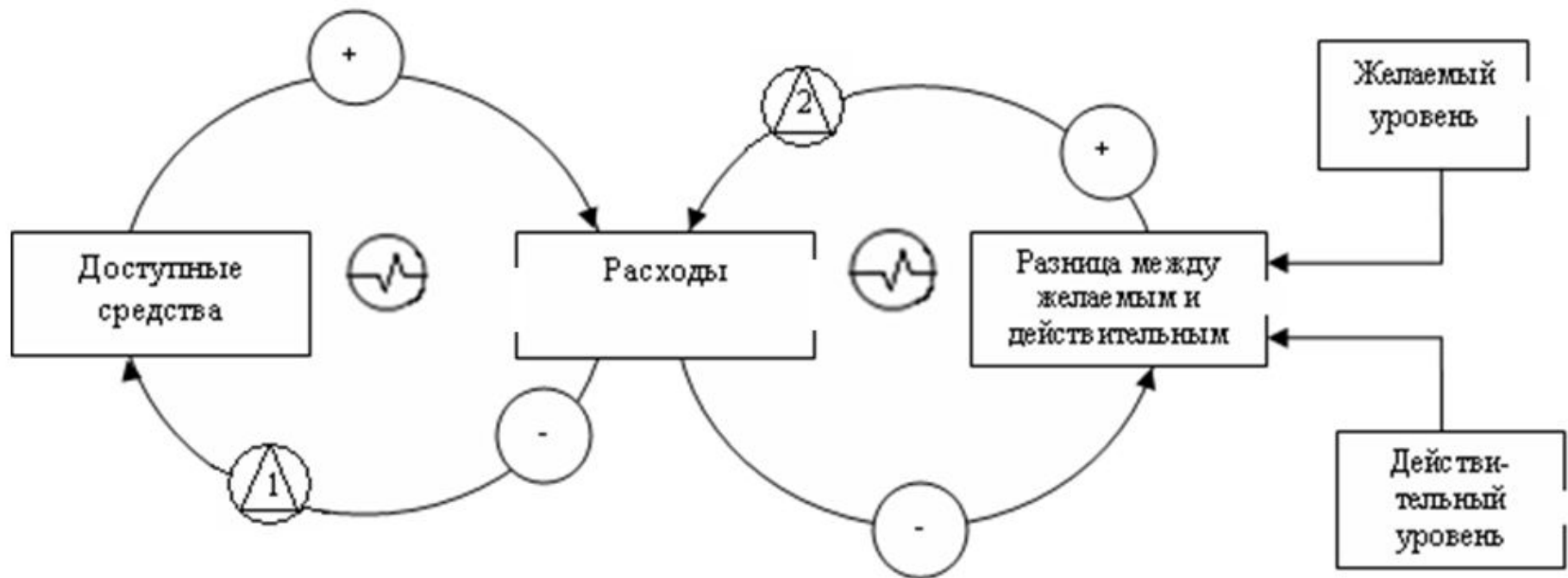
- Необходимо заблаговременно предвидеть предел и, когда еще успех дается легко, готовиться к встрече с ним
- Надо уточнить, что именно ограничивает систему и выработать решения для устранения (ослабления) его проявления
- Когда развитие замедляется не нужно упорствовать – это знак того, что надо менять стратегию. Стремление выжать все возможное из того, что еще недавно хорошо работало, не только бесперспективно, но и разрушительно (уравновешивающая петля использует новые вложения для противодействия развитию системы)
- Искать решения в ментальных моделях активных элементов системы

Постулат: у всякой системы есть точка оптимума, в которой она работает с наибольшей эффективностью: дальнейший рост производства системы будет оплачиваться снижением эффективности

## Архетип «личные финансы»

- Личные финансы не всегда поддаются контролю и содержимое карточного счёта расходуется, как нам кажется, совершенно независимо от нашей воли
- В этом случае имеет место следующий системный сюжет (архетип): человеку не хватает денег и он старается держать расходы под пристальным контролем; через некоторое время его финансовое положение выравнивается и даже образуются некоторые накопления; человек начинает «сорить» деньгами и спустя некоторое время он опять «на мели»
- С системной точки зрения расходы – это уравнивающий контур, приводимый в действие разницей между желаемым и действительным (правая петля): чем больше разница, тем сильнее искушение тратить деньги
- Но у этого искушения есть предел – допустимые средства – чем больше тратим тем меньше остаётся (левая петля)

# Визуализация архетипа «личные финансы»



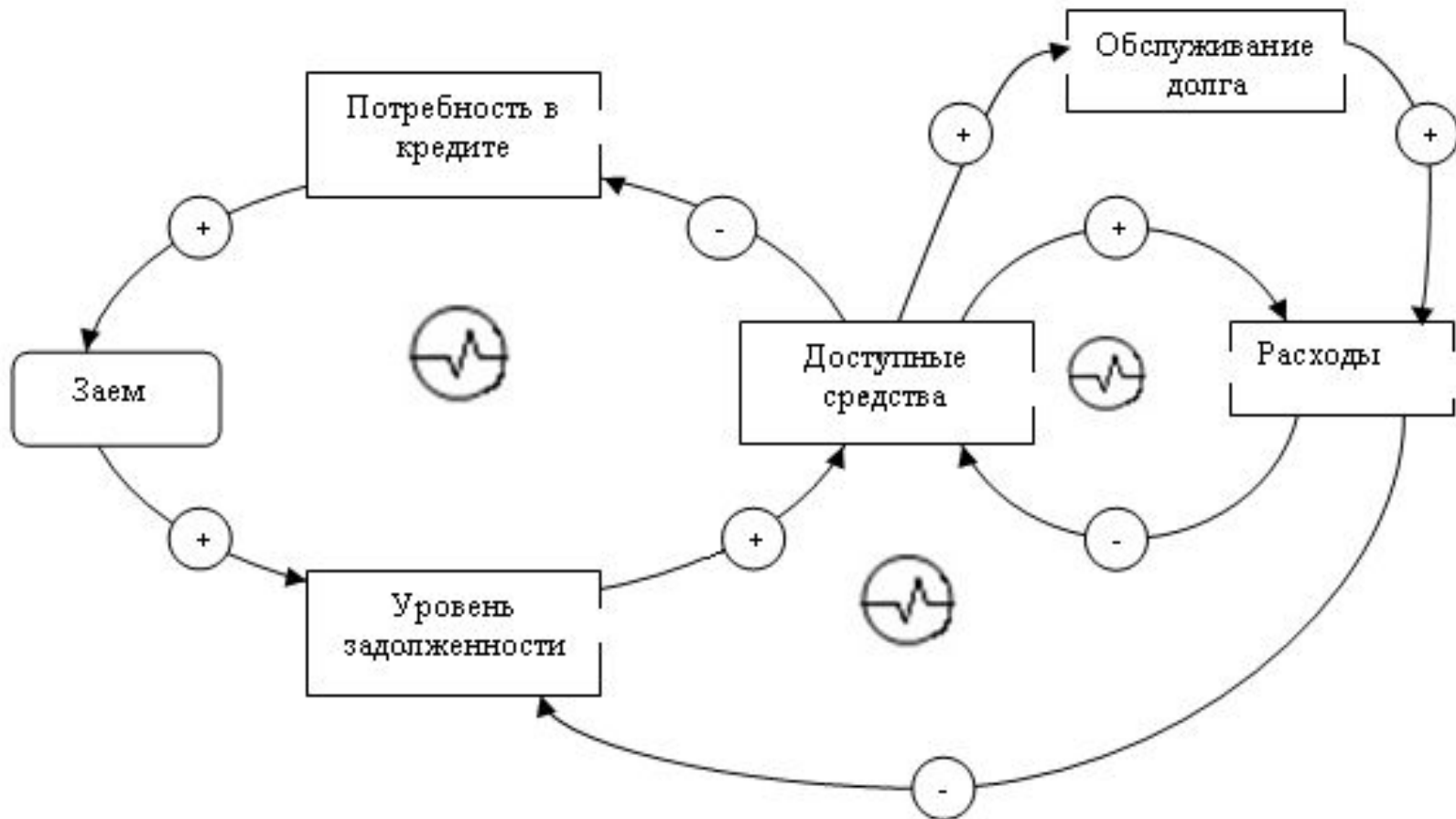
## Точки приложения корректирующих усилий в архетипе «личные финансы»

- Правая петля - точка сравнения действительного и желаемого уровня жизни (смирив желания можно ослабить напряжение в системе)
- Левая петля - можно попытаться увеличить объем доступных средств (для этого, по крайней мере, существует три варианта: сбережения, дополнительная работа, получение кредита)

*Замечание: усердствуя в повышении своих доходов необходимо забывать о границе дозволенного (не нарушать закон) и собственном здоровье (не надрываться)*



# Визуализация архетипа «кредитный заем»



## Пояснения к архетипу «кредитный заем»

Архетип «кредитный заем» состоит из трех контуров:

- контур «расходы-доступные средства» является мотором всего паттерна: в случае недостатка средств инициируется контур кредитного займа
- в контуре «доступные средства -заём» сконцентрирована вся сущность архетипа: кредитный заём увеличивает объем средств, которые направляются на покрытие расходов, но значительно повышает уровень задолженности заемщика
- контур «уровень задолженности – обслуживание долга» отражает последствия займа: чем больше денег заимствовано, тем дороже обходится обслуживание долга, которое включает возврат восстановленной части одолженной суммы к оплате процентов

## Выводы по архетипу «кредитный заем»

- Кредит – это возможность сегодня потратить будущие деньги и еще оплатить эту привилегию
- Кредит это долг у собственного будущего
- Использование редких природных ресурсов для непрерывного повышения уровня жизни равносильно жизни в кредит с тем лишь отличием, что занимаем не у себя, а наших детей и внуков, оставляя им сам долг и проценты по нему

## Архетип «латание дыр»

- «Латать дыры» это значит брать в долг, чтобы погасить более ранние долги
- Проценты увеличивают сумму долга, а при отсутствии надежного источника его покрытия возникает порочный круг
- Не редко краткосрочные решения перерождаются в привычку от которой очень трудно избавиться
- Если казалась бы решенная проблема возвращается, то это явный признак того, что человек стал жертвой системного архетипа, который возник вследствие чрезмерной концентрации внимания на текущих проблемах

# Как бороться с зависимостью

- Оперативные решения типа «взять кредит для покрытия долга» полезны только как временная (краткосрочная) мера
- Чтобы устранить проблему по существу нужны два момента:
  - признать, что краткосрочные решения в конечном итоге не работают
  - найти и устранить базовую проблему
- Далее приводится развитие процесса «латание дыр» на примере возникновения никотиновой зависимости

Замечание: аналогично возникают и другие виды зависимости: кредитная, алкогольная, наркотическая, консультационная и т.д.

# Архетип «латание дыр»



# Пути выхода из никотиновой зависимости

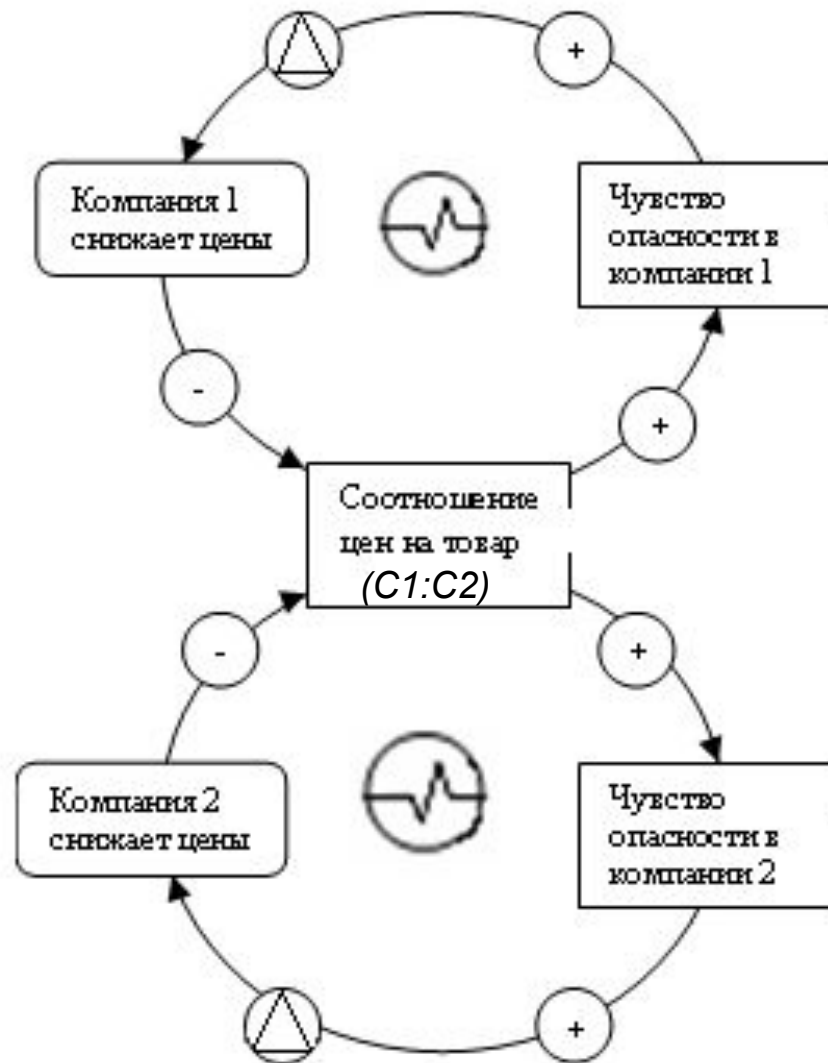
- Полезным будет любой способ, который помогает ослабить исходный уравновешивающий контур «стресс-курение»
- Полезны любые методы и средства, способные усилить второй (нижний) уравновешивающий контур «стресс – способность саморасслабиться»
- Надо всякими доступными методами бороться с никотиновой зависимостью и уменьшать число выкуриваемых сигарет контур «курение - здоровье»
- Надо укреплять здоровье и повышать способность к саморелаксации контур «никотиновая зависимость – способность саморасслабиться»

## Архетип «Эскалация»

- Иногда приходится попадать в ситуацию, когда вы чувствуете угрозу , пытаетесь вести себя по ситуации, но вас «загоняют в угол» из которого без ущерба для репутации не выбраться
- В тоже время вы не можете не продолжать игру, потому что ставки слишком высоки
- Примерно по такому сюжету развивается гонка вооружений, война цен, развитие событий в «любовном треугольнике» и т.п.



# Визуализация архетипа «эскалация» в контексте войны цен



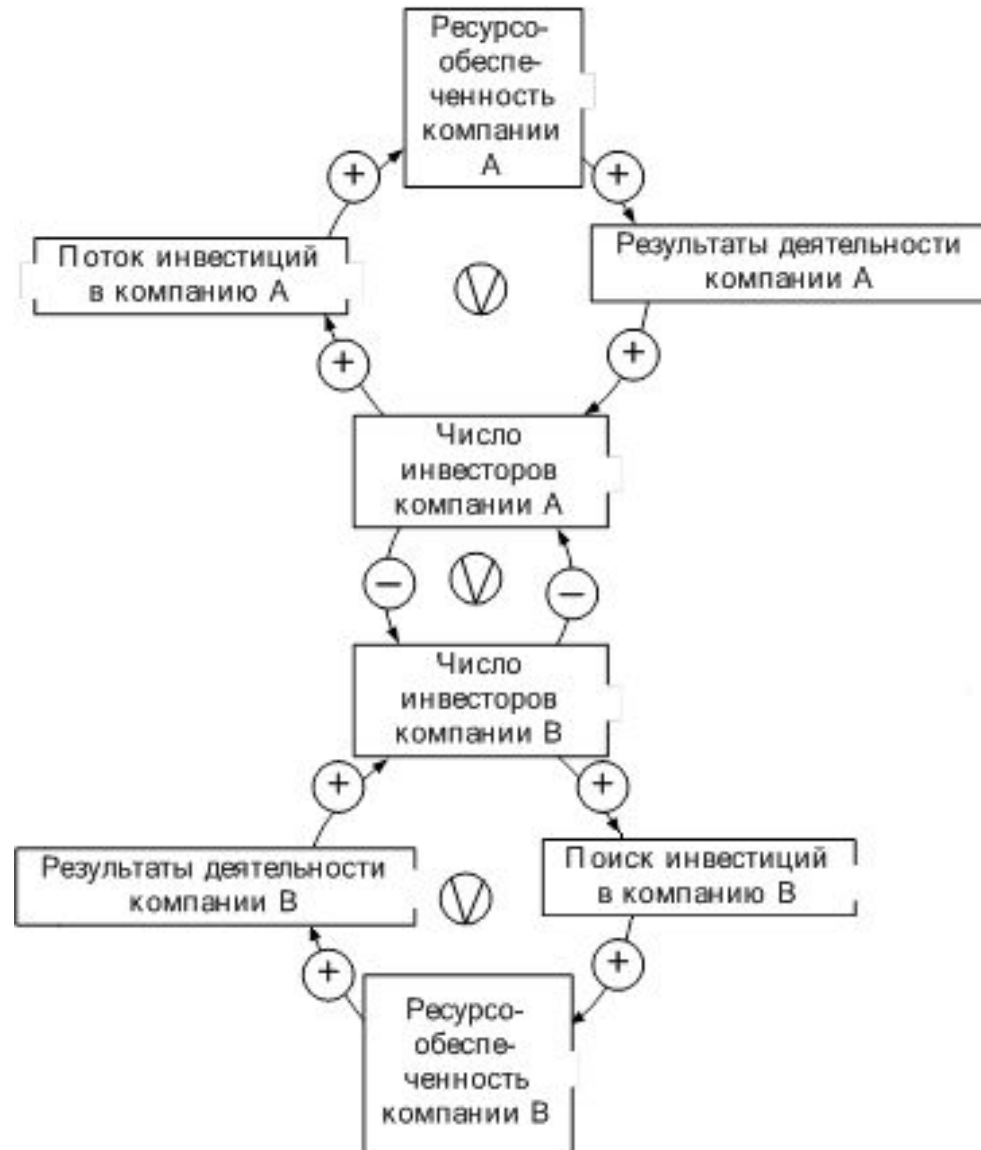
# Как противостоять эскалации

- Надо попытаться повлиять на ментальные модели участников конфликта (каждый из них рассматривает себя как обороняющуюся сторону, а в сопернике видит агрессора)
- Следует детальнее разобраться в природе сравнения, осуществляющемся в центральном блоке системной диаграммы (действительно ли обе стороны сравнивают одно и то же и нет ли возможности «смягчить» это сравнение)
- Надо попытаться подняться на более высокий уровень и задаться вопросом – какая глобальная цель могла бы объединить стремления обеих сторон (так можно найти удовлетворение нужд обеих сторон по принципу «и волки сыты, и овцы целы»)

## Архетип «монополия»

- Представим себе на рынке две публичные компании, привлекающие инвестиции для своего развития
- Одна компания начинает с небольшим преимуществом и добивается значительного успеха
- Другая, отставая совсем немного на старте, в конце концов терпит крах
- Сюжет раскручивается по принципу «везучим везет», «успех к успеху», «успешному и Бог помогает» и т.п.

# Визуализация архетипа «монополия»



## «Неудобные» вопросы

- В качестве необходимого условия архетипы «Эскалация» и «Монополия» предполагают наличие конкурентной среды
- Развитие обоих архетипов во времени могут привести к результатам, которые с точки зрения человека разумного являются несправедливыми (гибель либо разорение одного из участников)
- В этой связи возникают следующие вопросы
  - действительно ли в современном мире нельзя обойтись без конкуренции
  - какова главная цель, к которой стремятся обе стороны
  - за какие именно ресурсы идет борьба
  - существует ли поле сотрудничества для обеих сторон

# Прелюдия к ответам

- Монополия отчасти возникает потому , что ресурсы необходимые для достижения успеха еще используются как средство вознаграждения за достигнутый успех
- Поощряя таким образом победителя параллельно наказывают побеждённого, т.е. побеждённый оказывается дважды проигравшим
- Когда общество распределяет блага в соответствии с такой логикой, то результатом является **унижение, несправедливость и гнев**

# Методические рекомендации к построению системных диаграмм

- Необходимо ясное представление о цели системного моделирования, чтобы установить разумные границы исследуемой системы
- Определяется состав системы
- Очерчивается проблема и определяется набор факторов, значимых для ее решения
- Определяется временной горизонт, на котором будет исследоваться поведение системы
- Находятся закономерности поведения (паттерны) среди выделенных элементов и факторов и вычерчиваются контуры
- Осуществляется пунктуация обнаруженных контуров

*Замечание: не важно с какого места начинается построение системной диаграммы – все равно придется пройти весь контур обратной связи независимо от точки начала*

# Резюме

- Наличие контуров обратных связей позволяет констатировать системность фрагмента мироздания, случайным образом высеченного из окружающей нас среды
- Моделирование внутренней динамики представляет собой новое направление моделирования социокультурных систем
- Модели внутренней динамики способны вскрыть источники эмерджентных свойств исследуемой системы, с одной стороны, и тенденции ее развития на обозримую перспективу – с другой



## Темы для рефератов и эссе

- Холодная война: сюжет развития и развязка
- Системная модель процесса похудения
- Есть ли альтернатива конкуренции?..
- Фрактальность человека
- Технический анализ как успешный пример фрактальности экономических систем

# 13.Выбор

## Сущность процедуры выбора

- Управление любым экономическим объектом следует рассматривать как сложную процессную систему, подталкивающую объект к заранее определенной цели
- На каждом шаге этого целенаправленного движения надо делать выбор относительно дальнейшей траектории развития объекта
- Таким образом выбор определяется моментом времени, когда представляется возможность реализовать одно действие из множества допустимых
- Стремление понять, что такое хороший выбор и алгоритмически описать его поиск составляет одну из ключевых задач системного анализа

*Замечание: при осуществлении выбора необходимо помнить, что вернуться к состоянию объекта, предшествующему выбору не возможно*

## Ценность и особенности выбора

- Способность делать правильный выбор – очень ценное качество, которое присуще людям в разной степени
- По умению выбирать выделяют таланты в общей массе
- Индивидуальный выбор является итоговым результатом трех начал
  - рационального
  - эмоционального
  - культурного
- В каждом акте выбора любое из отмеченных начал может доминировать, немного превалировать или участвовать на равных

## Рациональный выбор

- В рациональном выборе всегда заключается личная выгода
- Рациональный выбор не всегда мудрый, поскольку отражает лишь выгоду принимающего решение человека на текущий момент времени, а мудрость имеет моральный подтекст и учитывает последствия сделанного выбора для общества
- Рыночная экономика и демократия предполагают только рациональный выбор: побеждают не обязательно лучше – побеждают те, кто лучше приспособился к существующему порядку

## Эмоциональный выбор

- Эмоциональный выбор ассоциируется с понятием красоты и чувством душевного волнения: интерес, азарт и сложность становятся ключевыми критериями при осуществлении эмоционального выбора
- В отличие от рационального выбора, который определяют цели-средства, находящиеся вне человека, эмоциональный выбор зависит от целей-ценностей, составляющих наполнение внутреннего мира человека
- Рациональный выбор направлен на предотвращение риска, эмоциональный выбор – стремиться ему навстречу

## Культурный выбор

- Вектор развития целеустремленной системы во многом определяют ценности, т.е. то, чего стремятся достичь ее активные элементы
- Культура посредством «диктата» общепринятых ценностей оказывает сильное влияние на процессы выбора
- Если по какой-то причине, человек, принимающий решение, не смог сделать обдуманый выбор, культура сделает это за него, предоставив ему решение из арсенала стандартных ценностей
- При этом, человек, соглашаясь с таким решением, чаще всего не осознает, что у него были альтернативы, а он реализовал *культурный выбор*

## Особенности современного выбора

- Современная практика выбора состоит в сочетании способностей человека к решению неформализованных задач с возможностями математических методов и инструментальных средств, призванных поддерживать этот процесс
- Выбор представляет собой операцию над множеством альтернатив, цель которой – отобрать одно действие или подмножество допустимых действий, подлежащих реализации

*Замечание: при этом мы посчитали уже выполненными два чрезвычайно важных этапа системного анализа:*

- *формирование множества допустимых действий, на котором предстоит осуществлять выбор*
- *определение целей, ради достижения которых осуществляется выбор*



# Моменты, определяющие вариативность математической постановки задачи выбора

- Множество альтернатив может быть конечным, счетным или несчетным (континуальным)
- Оценка альтернатив может осуществляться по одному или нескольким критериям, которые, в свою очередь, могут быть как количественными, так и качественными
- Режим выбора может быть однократным или повторяющимся (допускающим обучение на опыте)
- Последствия выбора могут быть точно известны (выбор в условиях определенности), иметь вероятностный характер (выбор в условиях риска) или иметь непрогнозируемый исход (выбор в условиях неопределенности)
- Ответственность за выбор может быть односторонней или многосторонней (соответственно различают индивидуальный и групповой выбор)
- Степень согласованности решений при многостороннем выборе может варьироваться от полного совпадения интересов сторон (корпоративный выбор), через промежуточные варианты частичного несовпадения интересов (компромиссный или коалиционный выбор), до полной противоположности интересов (конфликтный выбор)

## Критериальный выбор

- Суть критериального выбора заключается в том, что каждая конкретная альтернатива оценивается некоторым числовым значением и сравнение альтернатив сводится к сравнению соответствующих им критериальных значений
- Если предположить, что выбор любой альтернативы  $x \in X$  приводит к однозначно известным последствиям и заданный критерий  $q(x)$  численно выражает оценку этих последствий, то наилучшей альтернативой  $x^*$  является та, которая обеспечивает наибольшее значение критерия

$$x^* = \arg \max_{x \in X} q(x).$$

## Варианты однокритериального выбора

- В экономических приложениях множество допустимых альтернатив  $X$ , как правило, имеет числовой характер и представляет собой некую область  $X \in R^n$ , где  $n \geq 1$ .
- Если  $n = 1$ , т.е.  $X \in R$ , то функция  $q(x)$  тоже имеет числовой характер и задача нахождения оптимального решения сводится к задаче нахождения экстремума функции одной переменной в некоторой допустимой области
- Когда  $n > 1$ , т.е.  $X \in R^n$ , то множество допустимых альтернатив задается некоторой областью в  $n$ -мерном пространстве и задача выбора сводится к нахождению экстремума функции  $n$  переменных в этой допустимой области

*Следствие: если целевая функция линейна и система ограничений, выделяющая допустимую область  $X$ , тоже линейна, то имеем дело с задачей линейного программирования*

## Многокритериальный выбор

- Сложность поиска наилучшей альтернативы многократно возрастает, когда ее оценивают не по одному критерию, а по нескольким критериям, качественно различающимся между собой
- Основная сложность решения задачи многокритериального выбора лежит в логической плоскости и связана с эффектом *несравнимости альтернатив*
- Если альтернативы оцениваются по двум критериям  $q_1$  и  $q_2$  и исход  $q_1(X')$  лучше чем исход  $q_2(X')$ , но исход  $q_1(X'')$  хуже чем исход  $q_2(X'')$ , то альтернативы  $X'$  и  $X''$  несравнимы между собой

Замечание: несравнимость альтернатив связана со стремлением ЛПР достичь противоречивых целей

## Постановка задачи многокритериального выбора

- Путь для оценивания альтернатив используется несколько критериев

$$q_1(x), q_2(x), \dots, q_I(x); x \in X, i = \overline{1, I}$$

где  $X$  — множество возможных альтернатив,  
 $I$  — число критериев.

- Необходимо определить альтернативу  $x^* \in X$ , наилучшим образом удовлетворяющую все критерии  $q_i(x), i = \overline{1, I}$ , т.е.

$$x^* \in X: q_i(x^*) = q_i^{\text{опт}}(x), i = \overline{1, I}.$$

- Очевидно, что такая постановка задачи требует решения двух подзадач:
  - выбора метода поиска лучшей альтернативы;
  - определения лучшей альтернативы выбранным методом.

## Метод решения 1: «свёртка» критериев

- Вводим обобщенный критерий, представляющий собой некоторую скалярную функцию на множестве локальных критериев:

$$q(x) = q(q_1(x), q_2(x), \dots, q_I(x))$$

- Обобщенный критерий позволяет упорядочить альтернативы по величине  $q$  и выделить среди них наилучшую по  $x$  (в смысле этого критерия)
- Задача сводится к его максимизации

$$x^* = \underset{x \in X}{\operatorname{arg\,max}} q(q_1(x), q_2(x), \dots, q_I(x))$$

## Способы свёртки критериев

- Вид функции  $q$  определяется тем, как мы представляем себе вклад каждого локального критерия в обобщенный критерий.
- Обычно используют аддитивный критерий

$$q = \sum_{i=1}^l \alpha_i \frac{q_i}{s_i}$$

где  $s_i$  — коэффициенты, обеспечивающие безразмерность величин  $(q_i/s_i)$  поскольку частные критерии могут иметь разную размерность и тогда операция сложения не имеет смысла;

$\alpha_i$  — отражает относительный вклад частных критериев в обобщенный критерий.

- Значительно реже применяют мультипликативный критерий

$$q = \prod_{i=1}^l \beta_i \frac{q_i}{s_i}$$

где  $\beta_i$  — аналог вероятности максимального удовлетворения критерия  $q_i$ , что автоматически требует выполнения условия

$$\beta_i q_i / s_i \leq 1$$

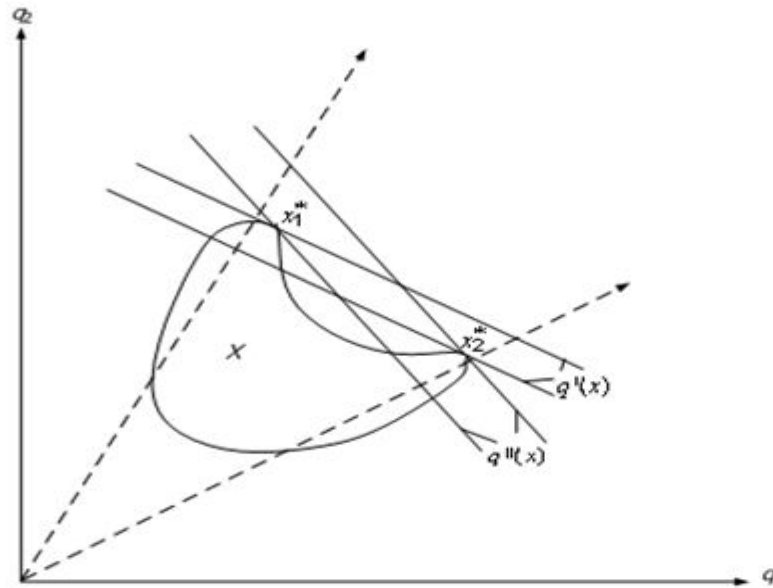
## Сложности решения задачи многокритериального выбора методом сверки критериев

- Главная сложность заключается в том, что упорядочение точек в многомерном пространстве не может быть однозначным
- Объединенный критерий играет роль упорядочивающей функции и иногда его даже небольшое изменение может привести к тому, что оптимальная в новом смысле альтернатива окажется сильно отличающейся от старой
- Принципиальная сложность построения обобщенного критерия заключается в том, что приходится соотносить друг с другом критерии, характеризующие объект с разных сторон.
- Построение линейной комбинации частных критериев невозможно без их соизмерения между собой, что не редко требует большой дополнительной информации

Замечание: *линейные комбинации частных критериев придают упорядочению следующий смысл: чем дальше от нуля в заданном направлении, тем лучше*



# Визуализация решения задачи многокритериального выбора, методом сверки критериев



Замечание: на рисунке видно, как изменяется выбор наилучшей альтернативы при простой смене коэффициентов в линейной упорядочивающей функции, что отражается в изменении наклона соответствующей прямой:

$$q'(x_1^*) > q'(x_2^*), \text{ но } q''(x_1^*) < q''(x_2^*)$$

## Метод решения 2: условная оптимизация

- В основу метода положен тот факт, что критерии обычно неравнозначны
- Тогда выделяется наиболее важный критерий в качестве головного, а остальные рассматриваются как дополнительные
- Такое различие критериев позволяет сформулировать задачу поиска условного экстремума основного критерия

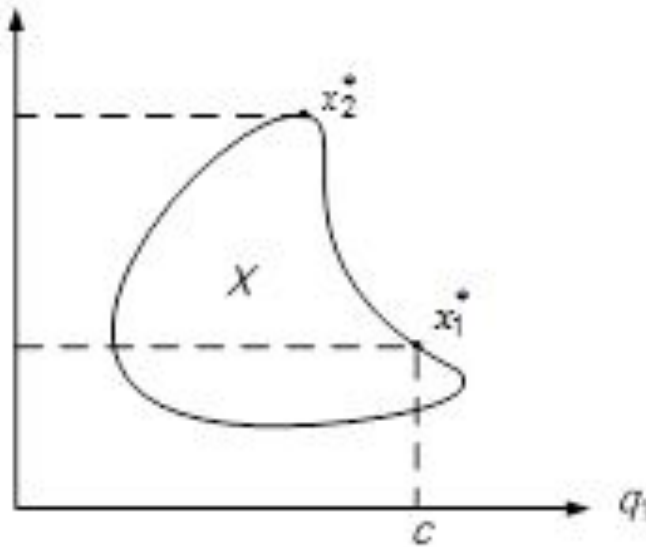
$$x^* = \arg \left\{ \max_{x \in X} q_1(x) : q_i(x) = c_i, i = 2, 3, \dots, I \right\}$$

# Визуализация решения задачи многокритериального выбора методом условной оптимизации

- В основу метода положен тот факт что критерии обычно неравнозначны

- Тогда выделяется главный, а остальные дополнительные

- Такое различие превращает задачу поиска оптимального решения в задачу поиска  $x^* = \arg$



... критерий в качестве главного, а остальные дополнительные

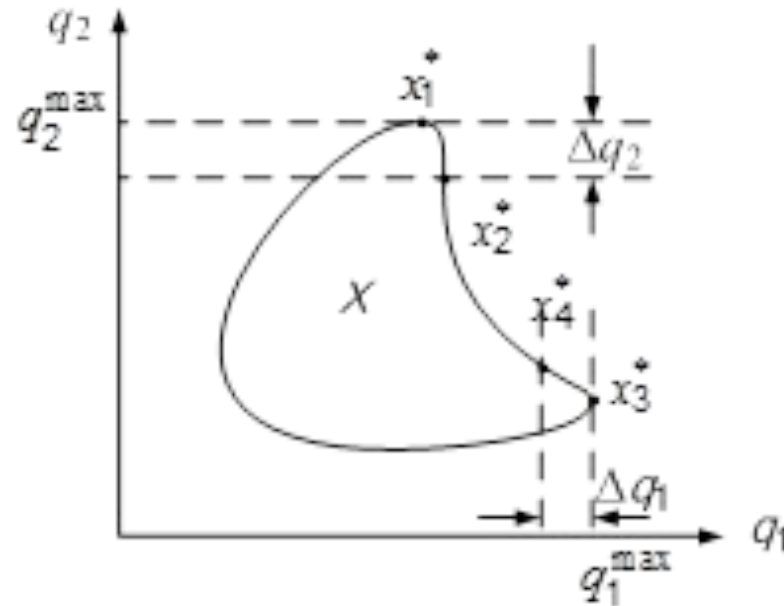
... формулировать задачу поиска оптимального решения в задаче поиска  $x^* = \arg$   $\{2, 3, \dots, I\}$

## Метод решения 3: метод уступок

- Если равнозначность критериев выражена слабо и пользователь готов допустить снижение значений более важных критериев, чтобы добиться повышения значений менее важных, то для решения многокритериальной задачи прибегают к *методу уступок*
- Идею этого метода можно изложить следующим образом; пусть частные критерии пронумерованы в порядке убывания их важности; берут первый из них и находят наилучшую для него альтернативу
- Далее, если число критериев больше двух, определяется уступка по только что максимизированному критерию и максимизируется следующий по важности критерий
- Процедура повторяется до тех пор, пока не будут перебраны все более или менее важные критерии или перечень критериев не закончится

*Замечание: если разница между критериями очень существенна, то ни о каких уступках не может быть и речи: в этой ситуации альтернативы сравниваются жестко по каждому критерию*

# Визуализация решения задачи многокритериального выбора методом уступок



Замечание: если самым важным является критерий  $q_2$ , то уступка составит величину  $\Delta q_2^*$ , а значение аргумента, при котором достигается максимальное значение  $q_2$  с учетом уступки, будет равно  $x_2^*$ . Аналогично, если самым важным является критерий  $q_1$ , то уступка составит величину  $\Delta q_1$ , а значение аргумента, при котором достигается максимальное значение  $q_1$  с учетом этой уступки, будет равно  $x_4^*$ .

## Метод решения 4: поиск альтернативы с заданными свойствами

- Четвертый способ многокритериального выбора относится к случаю, когда заранее могут быть указаны значения или границы частных критериев и задача заключается в том, чтобы найти альтернативу, удовлетворяющую этим требованиям, либо установив, что такая альтернатива на множестве  $X$  отсутствует, найти альтернативу, которая ближе всего к заданным значениям
- Назначаемые значения величин  $\bar{q}_i (i = \overline{1, I})$  называют уровнями притязаний, а точку их пересечения в  $I$ -мерном пространстве критериев – *целью, идеальной точкой* или *опорной точкой*
- Идея оптимизации заключается в том, чтобы начав с любой альтернативы  $x$ , приближаться к  $x^*$  по некоторой траектории в пространстве  $X$ . Это достигается введением числовой меры близости между очередной альтернативой  $x$  и целью  $x^*$  т.е. между векторами

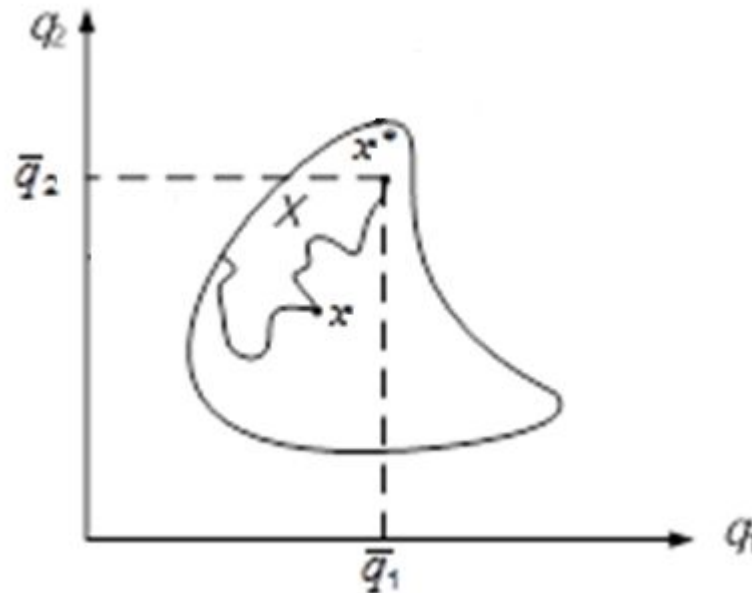
$$q(x) = (q_1(x), q_2(x), \dots, q_I(x))$$
$$\bar{q} = (\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_I)$$

## Способы определения близости между текущей и целевой альтернативой

- В основу метода положен тот факт, что критерии обычно неравнозначны
- Тогда выделяется наиболее важный критерий в качестве головного, а остальные рассматриваются как дополнительные
- Такое различие критериев позволяет сформулировать задачу поиска условного экстремума основного критерия

$$x^* = \arg \left\{ \max_{x \in X} q_1(x) : q_i(x) = c_i, i = 2, 3, \dots, I \right\}$$

# Визуализация решения задачи многокритериального выбора методом поиска альтернативы с заданными свойствами



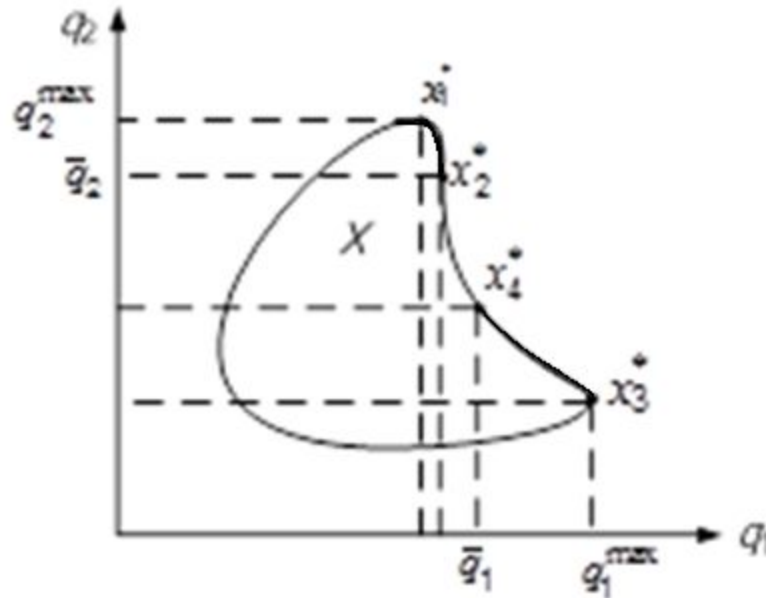
Замечание: двигаясь в направлении уменьшения расстояния между векторами ( $q$  и  $\bar{q}$ ) мы, в конце концов, достигнем искомой альтернативы  $x^*$ :  $q_1(x^*), q_2(x^*), \dots, q_l(x^*) = (\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_l)$  – или убедимся, выйдя на границу области  $X$  и не достигнув заданного значения вектора  $\bar{q}$ , что в заданной области такая альтернатива отсутствует



## Метод решения 5: нахождение множества Парето

- Предпочтение одной альтернативы перед другой можно отдавать только в случае, если первая по всем критериям лучше второй
- Если же предпочтение хотя бы по одному критерию расходится с предпочтением по другим критериям, то такие альтернативы, как отмечалось выше, признаются *несравнимыми*
- В результате попарного сравнения альтернатив все худшие по всем критериям альтернативы отбрасываются, а все оставшиеся несравнимые между собой, альтернативы – принимаются
- Если все максимально достижимые значения частных критериев не относятся к одной альтернативе, то принятые альтернативы образуют *множество Парето* и выбор на этом заканчивается

# Визуализация решения задачи многокритериального выбора методом Парето



Замечание 1: на рис множество Парето выделено жирной линией

Замечание 2: при необходимости же выбора единственной альтернативы привлекают дополнительные средства: вводят добавочные критерии и ограничения, прибегают к услугам экспертов либо просто бросают жребий

## Резюме

- Приведенные здесь математическая постановка общей задачи выбора и частные варианты решения задачи многокритериальной оптимизации, к сожалению, имеют очень ограниченное применение в практической экономике.
- Сложность реальных задач многокритериального выбора не позволяет втиснуть их в теоретические математические выкладки.
- Тем не менее сама математическая постановка задачи выбора, требующая надлежащего структурирования предметной области, и результат ее решения, позволяющий видеть тенденцию развития ситуации, являются серьезным подспорьем в решении исследуемой проблемы.

## Темы для рефератов и эссе

- Экономические задачи однокритериальной оптимизации: постановка и методы решения.
- Системный анализ балльной оценки спортивных результатов (на примере фигурного катания).
- Многокритериальная экономическая задача: постановка и решение.
- Теория элит Вильфредо Парето.

## 14. Выбор в условиях неопределенности и риска

# Постановка задачи

- Процедура выбора в таких условиях, когда последствия каждой альтернативы (  $x$  ) определяются однозначно, является только одной из разновидностей выбора, которая в экономике не является доминирующей
- Намного сложнее принимать решения в условиях неопределенности и/или риска, когда информация о состоянии внешней среды отсутствует или носит стохастический характер
- В настоящей лекции будут рассмотрены методы осуществления выбора именно в таких условиях

# Игровые методы выбора

- В основу метода положен тот факт, что критерии обычно неравнозначны
- Тогда выделяется наиболее важный критерий в качестве головного, а остальные рассматриваются как дополнительные
- Такое различие критериев позволяет сформулировать задачу поиска условного экстремума основного критерия

$$x^* = \arg \left\{ \max_{x \in X} q_1(x) : q_i(x) = c_i, i = 2, 3, \dots, I \right\}$$

# Математическая постановка задачи игрового выбора

- Если множество  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  интерпретировать как множество альтернатив (ходов), на котором осуществляет выбор активный игрок, а множество  $Y = \{y_j, j = \overline{1, J}\}$  – как множество исходов, обусловленных текущим состоянием исследуемой системы и внешней среды, ассоциируемыми с *природой*, то процедуру выбора можно описать с помощью матрицы

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccccc}
 x_1 & x_2 & \dots & x_n & \dots & x_m \\
 \left[ \begin{array}{cccccc}
 x_1 y_1 & x_1 y_2 & \dots & x_1 y_n & \dots & x_1 y_m \\
 x_2 y_1 & x_2 y_2 & \dots & x_2 y_n & \dots & x_2 y_m \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 x_n y_1 & x_n y_2 & \dots & x_n y_n & \dots & x_n y_m \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 x_m y_1 & x_m y_2 & \dots & x_m y_n & \dots & x_m y_m
 \end{array} \right. & \begin{array}{c}
 y_1 \\
 y_2 \\
 \dots \\
 y_n \\
 \dots \\
 y_m
 \end{array}
 \end{array}
 \end{array}$$

Замечание: здесь приведен вариант выбора в условиях неопределенности с дискретным набором альтернатив и исходов



## Необходимые пояснения

- Если строки матрицы  $Q$  одинаковы т.е.  $q_i = (q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{ij}) = \text{const}$  при любых  $i = \overline{1, I}$ , то проблемы выбора между альтернативами не существует
- Если же строки матрицы  $Q$  различны, то возникает вопрос какую альтернативу предпочесть, не зная заранее, какой из подходов реализуется
- Желательность каждой альтернативы  $x_i$  зависит от того каково состояние *природы*, но узнать каково оно на самом деле мы сможем лишь после того как сделаем выбор
- Чтобы сделать правильный (эффективный) выбор активный игрок руководствуется определенными правилами, которые называются *стратегией игры*

## Варианты постановок игровых задач

- Если исходы  $\{x_i, x_j\}$  образуют множество альтернатив, на котором осуществляет выбор второй игрок, который, естественно, преследует свои интересы отличные от интересов первого игрока, то одной матрицы для постановки игровой задачи недостаточно
- Для описания всей игры кроме матрицы  $Q = \|q_{ij}\|$ , в которой зафиксированы оценки ситуаций с точки зрения первого игрока необходимо задать и вторую матрицу  $U = \|u_{ij}\|$ , описывающую игру с позиций второго игрока
- Расхождение между матрицами  $Q$  и  $U$  определяется степенью антагонизма игроков
  - если  $q_{ij} + u_{ij} = \text{const } \forall i, j$ , то соперничество называется строгим
  - если  $q_{ij} + u_{ij} = 0 \forall i, j$  имеем игру с нулевой суммой (один игрок выигрывает ровно столько, сколько проигрывает второй игрок)
  - если  $(q_{ij} \text{ и } u_{ij})$  не связаны линейно, то мы имеем дело с естественной игрой (противостоянием), когда меняется конфронтация сторон

# Сущность алгоритма поиска решения игровой задачи

- Центральным моментом в решении игровых задач является определение критерия оценки выбираемого варианта
- В силу неопределенности исхода нужно дать оценку сразу целой строке матрицы
- Только имея такие оценки для всех строк, мы можем сравнивать их между собой и делать выбор

Замечание: если  $X$  и  $Y$  – непрерывные множества, то для описания игры на этих множествах задаются функции  $\varphi(x, y)$  и  $\psi(x, y)$   $x \in X$ ,  $y \in Y$  и ставится задача поиска эффективной альтернативы  $x$ . Естественно, что алгоритм этого поиска будет отличаться от алгоритма поиска в случае дискретных множеств  $X$  и  $Y$ .

# Максиминный критерий решения задачи игрового выбора

- Максиминный критерий является выбором «лучшего из худших»
- В каждой строке платежной матрицы находится наименьший выигрыш  $\min_j q_{ij}$ , который характеризует гарантированный выигрыш в самом худшем случае, и принимается за оценку альтернативы  $x_i$
- Находится альтернативы  $x^*$ , обеспечивающая наибольшее значение этой оценки, т.е.

$$x^* = \arg \max_i \min_j q_{ij}$$

Замечание: максиминный критерий (его еще называют критерием Вальда) выражает крайнюю осторожность игрока

# Максимаксный критерий игрового выбора

- В каждой строке матрицы платежей находится наибольший выигрыш, ориентируя игрока на благоприятнейшее для него состояние «природы» при выборе альтернативы  $x_i$
- Находится альтернатива  $x^*$ , обеспечивающая наибольшее значение этой оценки

$$x^* = \arg \max_i \max_j a_{ij}$$

- Альтернатива  $x^*$  принимается за цену игры

Замечание: максимаксный критерий называют критерием крайнего оптимизма, что свидетельствует о чрезвычайной легкомысленности игрока

# Критерий пессимизма-оптимизма Гурвица

- Для нахождения «золотой середины» между максиминным и максимаксным критериями Леонид Гурвиц ввел параметр пессимизма-оптимизма  $\lambda$ , который определяется по следующему правилу

$$\lambda = \begin{cases} 0, & \text{крайний оптимист} \\ (0, 0.5), & \text{оптимист} \\ (0.5, 1), & \text{пессимист} \\ 1, & \text{крайний пессимист} \end{cases}$$

- И предложил применять максиминный критерий к величине

$$G = \lambda \min_{\text{стр}} G_{\text{стр}} + (1 - \lambda) \max_{\text{стол}} G_{\text{стол}}, \quad \lambda = \frac{1}{1 + \alpha}$$

*Замечание:* не трудно заметить, что при  $\lambda = 0$ , задача игрового выбора сводится к поиску максимаксного критерия, а при  $\lambda = 1$  – максиминного критерия

# Минимаксный критерий решения задачи игрового выбора

- Если игра задана не матрицей выигрышей, а матрицей проигрышей, то используют минимаксный и миниминный критерии
- Миниминный критерий называют – выбором «меньшего из зол»
- В каждой строке матрицы находится наибольший выигрыш  $\max_j q_{ij}$ , который ассоциируется с наилучшим исходом игры, и принимается за оценку альтернативы
- Находится альтернатива  $x_i$ , обеспечивающая наименьшее значение этой оценки

$$x^* = \arg \min_i \max_j q_{ij}$$

Замечание: минимаксный критерий является крайне осторожным, пессимистическим (как и максиминный критерий в игре заданной матрицей выигрышей)

# Миниминный критерий решения задачи игрового выбора

- В каждой строке матрицы находится наименьший выигрыш  $\min$  и принимается за оценку альтернативы (строки)
- Находится альтернатива, обеспечивающая наименьшее значение этой оценки, которая принимается за решение игры

$$i^* = \arg \min_i \min_j a_{ij}$$

Замечание: миниминный критерий в игре с природой, заданной матрицей проигравшей представляется крайнеоптимистичным (его достижение гарантирует наименьший проигрыш)



# Критерий минимального сожаления Седвиджа

- Минимаксный и миниминный критерии выражают крайние варианты нацеленности игрока на выигрыш (абсолютную осторожность или абсолютный авантюризм), поэтому при решении практических задач используются другие критерии в т.ч. критерий минимального сожаления Седвиджа
- По платежной матрице  $Q$  вычисляется матрица сожалений  $S$ , элементы которой определяются по правилу

$$s_{ij} = q_{ij} - \min_{j} q_{ij}, \quad i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}$$

- Минимаксный критерий применяется к матрице  $S$

$$x^* = \arg \min_i \max_j s_{ij}$$

# Смешанные стратегии решения задачи игрового выбора

- Как правило каждому игроку выгодно скрывать от противника свой способ выбора альтернатив (стратегию)
- Тогда решения задачи игрового выбора достигается введением *смешанной стратегии*
- В отличие от чистой стратегии, при которой альтернатива выбирается однозначно по детерминированному правилу, в смешанной стратегии предполагается задание лишь вероятностей выбора альтернатив
- Сам выбор будет осуществляться случайным механизмом, подчиняющимся заданному распределению
- В результате полученный выигрыш становится случайной величиной и, следовательно, сравнению подлежат математические ожидания выигрыша (проигрыша)

# Метод седловой точки

- Пусть имеется игра с континуальными множествами  $X$  и  $Y$ , строгим соперничеством сторон и нулевой суммой
- Для задания такой игры достаточно лишь одной функции платежей  $q(x, y)$ , которую один игрок старается максимизировать по  $x$ , а другой – минимизировать по  $y$
- Решением игры является точка  $(x^*, y^*)$ , в которой удовлетворяются амбиции обоих игроков

$$\min_{y \in Y} \max_{x \in X} q(x, y) = \max_{x \in X} \min_{y \in Y} q(x, y), q(x^*, y^*)$$

- Точку  $(x^*, y^*)$  называют *седловой точкой* или *точкой равновесия интересов сторон*

# Сущность задачи выбора в условиях статистической неопределенности

- Существует класс задач выбора, в которых неопределенность сохраниться и после того, как продлена серия экспериментов, наблюдений и вычислений
- Это объясняется тем, что данные полученные в результате эксперимента, связаны с интересующим нас аспектом системы (объекта, проекта, процесса или среды) не непосредственно и однозначно, а опосредовано и в совокупности с другими неконтролируемыми факторами
- В такой задаче необходимо сделать выбор на основании косвенных и зашумленных данных

Примеры: многократное взвешивание предмета для высокоточного определения его веса, постановка диагноза на основе данных анализов, аппроксимация тренда кривой и т.п.

# Основная гипотеза выбора в условиях статистической неопределенности

- Самым важным предположением для формализованной постановки такой задачи выбора является предположение о статистичности экспериментальных данных
- Оно заключается в том, что связь между истинной, но неизвестной искомой альтернативой  $\theta$  и наблюдаемыми данными  $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$ , адекватно описывается функцией распределения вероятностей

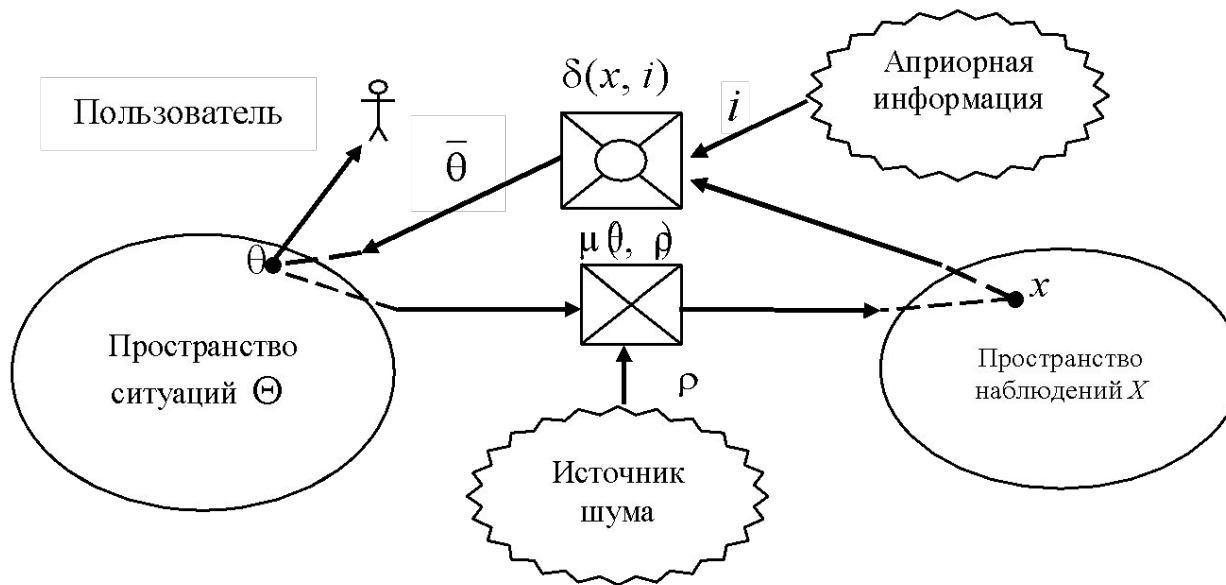
$$P(X_1, X_2, \dots, X_n / \theta)$$

или плотностью вероятностей

$$p(X_1, X_2, \dots, X_n / \theta)$$

- Считается, что выборка наблюдений  $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$  принадлежит статистическому ансамблю всевозможных выборок, на котором задано распределение вероятностей и это распределение различно для различных  $\theta$ , что и обеспечивает наличие информации о  $\theta$  в выборке  $X$
- Задача состоит в том, как извлечь эту информацию, т.е. как осуществить выбор на множестве  $\Theta$  (множестве возможных закономерностей)

# Общая схема принятия статистических решений



*Условные обозначения:*

$\square$  – то, что нам неизвестно и необходимо определить

$\square$  – множества всех предполагаемых возможностей относительно  $\theta$

$\square = (\square_1, \square_2, \dots, \square_n, \dots)$  – выборка (протокол наблюдений)

$X$  – множество всех возможных выборок

## Пояснения к схеме

- На реализовавшееся значения выборки оказывает влияние не только искомая величина  $\theta$ , но и совокупность случайных факторов  $\omega$ , которые совместно с  $\theta$  отображаются пространство  $X$  с помощью оператора

$$\theta: \omega = \theta(\theta, \omega)$$

- Зная  $\omega$  мы должны сделать выбор относительно  $\theta$ , т.е. принять решение, какую альтернативу из множества  $\theta$  мы будем считать истинной
- Процедура выбора изображена как действие некоторого оператора  $\Gamma$  над выборкой  $x$ : каждой выборке  $x$  этот оператор ставит в соответствие решения

$$\Gamma \rightarrow \theta(\theta, \omega)$$

Замечание: аргумент  $i$  введен для того, чтобы подчеркнуть, что одну и ту же выборку можно обрабатывать по разному, получая разные решения

# Роль априорной информации в решении задачи статистического выбора

- Синтез статистических процедур выбора ( $\hat{\theta}$ ) и оценка близости между  $\hat{\theta}$  и  $\theta$  очень сильно зависят от априорной информации
- В состав априорной информации включаются любые сведения, имеющиеся до того, как мы приступили к синтезу новой процедуры
- Эти сведения могут характеризовать
  - пространство ситуаций  $\Theta$
  - природу шумов  $\rho$
  - оператор  $\mu$ , определяющий характер взаимодействия  $\theta$  и  $\rho$
  - пространство наблюдений  $X$

Замечание: требования потребителя к качеству решений, разным уровням априорной информации соответствуют разные направления математической статистики: байесовская статистика, метод максимального правдоподобия, непараметрическая статистика и др.

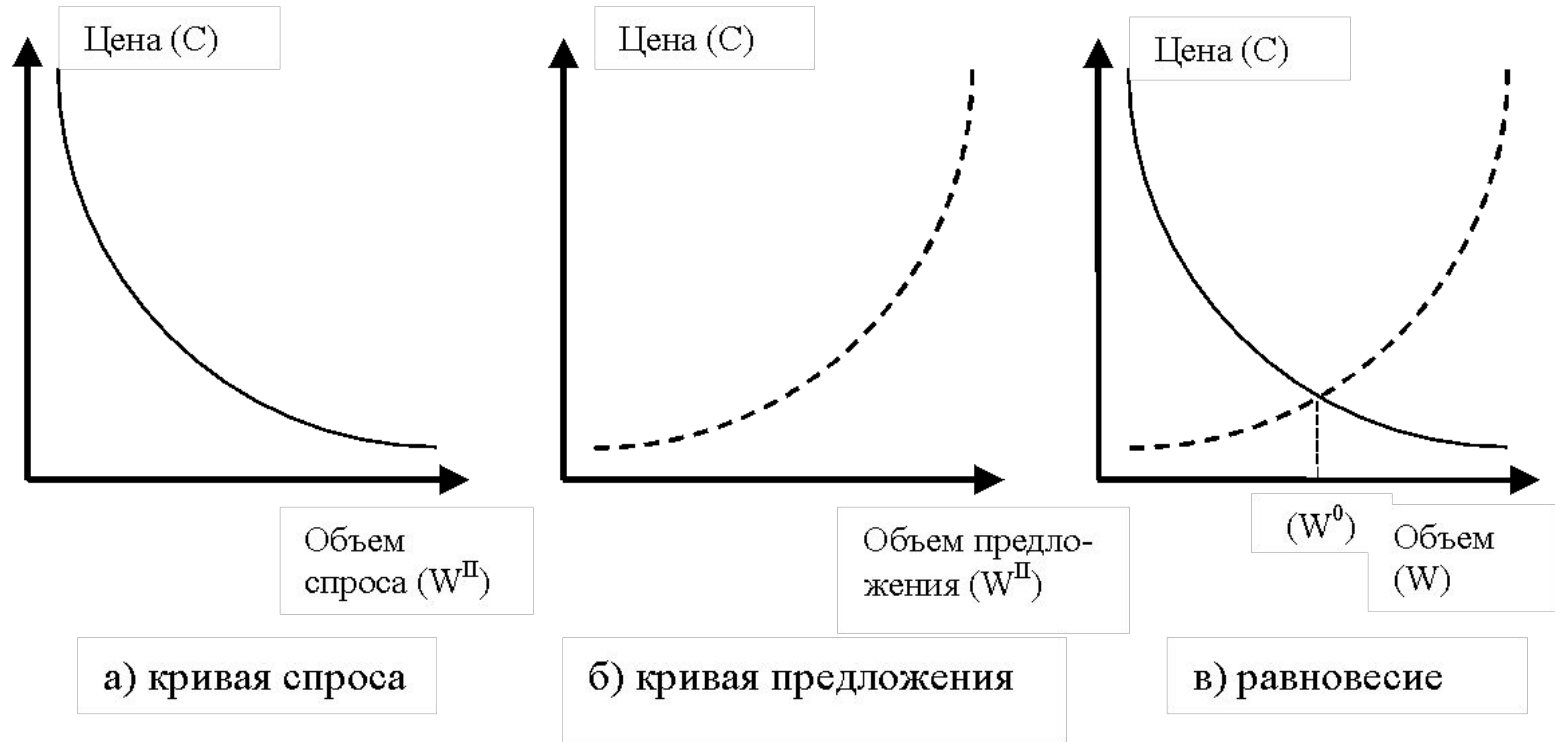


## Выбор в условиях риска

- Математическая модель выбора в условиях риска может быть построена на базе теории равновесных случайных процессов
- В основе этой теории лежат фундаментальные понятия рыночной экономики *спрос, предложение, равновесие и вероятность*
- Теория равновесных случайных процессов исследует товарные, финансовые и другие рынки в окрестностях точки рыночного равновесия, в которой все факторы (силы) воздействующие на текущее состояние исследуемой системы уравнивают друг друга

Определение: *равновесным случайным процессом будем считать такой процесс, траектория которого в фазовом пространстве определяется сочетанием случайных факторов и управляющих воздействий, направление и сила которых определяется размером и направлением отклонения фактической траектории развития процесса от заданной*

# Визуализация основных понятий теории равновесных случайных процессов



## Содержательная постановка задачи выбора в условиях риска в контексте теории равновесных случайных процессов

- Планируя свою деятельность на очередной плановый период, предприниматель (фирма) решил поставить на рынок свой товар в объеме  $Q^П$
- При этом он надеяться (рассчитал), что ему удастся реализовать весь этот объем, ассоциируя его с объемом фактического спроса  $Q^Ф$
- Однако если предприниматель выходит на новый (незнакомый) рынок, то для определения  $Q^Ф$  придется провести некоторый анализ:
  - оценить численность покупателей  $f_1$
  - уяснить сколько из них могут купить его продукцию  $f_2$
  - прикинуть среднюю величину покупки в рублях  $f_3$
  - определить свою долю рынка с учетом наличия конкурентов  $f_4$
  - зафиксировать сложившуюся цену на его товар  $C$
- Имея количественные значения всех перечисленных факторов, не представляет труда вычислить  $Q^Ф$ 

$$Q^Ф = f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times \frac{1}{C} \quad (1)$$

Замечание: не трудно заметить, что все оцениваемые здесь факторы относятся к будущему и являются случайными величинами

## Издержки занижения и сопровождающий их риск

- Если предприниматель выйдет на рынок с объемом товара  $Q^П$ , а рынок будет готов «проглотить» больший объем  $Q^Ф$  ( $Q^Ф > Q^П$ ) то предприниматель понесет виртуальные убытки на сумму упущенной прибыли

$$\underline{I} = (I - S) \times (Q^Ф - Q^П) \quad (2)$$

где  $\underline{I}$  – издержки занижения плана

$S$  – себестоимость реализуемого товара

- *Издержки занижения* представляют собой дополнительные затраты, возникающие в ситуации, когда план постановки товара оказался меньше спроса ( $Q^П < Q^Ф$ ) и вследствие того, что план меньше спроса
- Если зафиксировать  $Q^П$  и много раз вычислять значение  $Q^Ф$  при разных допустимых значениях факторов в формуле (1), каждый раз выбирая значения для которых  $Q^П < Q^Ф$ , а затем подставлять в формулу (2) и вычислять издержки занижения, то у нас получится целый список, среднее значение которого составит риск занижения

Замечание: издержки занижения и риск занижения измеряются в деньгах

## Издержки завышения и сопровождающий их риск

- Если предприниматель вышел на рынок с объемом товара  $Q^П$  и не сумел продать его весь (продал только объем  $Q^Ф > Q^П$ ), то он понесет реальные издержки завышения плана

$$I_{\text{завыш}} = q \cdot (Q^П - Q^Ф)$$

где  $q$  – доля невозвратных затрат

- *Издержки занижения* представляют собой затраты, возникающие в ситуации, когда план поставки окажется больше спроса ( $Q^П > Q^Ф$ ) и вследствие того, что план поставки больше спроса
- Так же как для издержек занижения рассчитываем средние ожидаемые издержки завышения для любого плана поставок  $Q^П$  и взяв математическое ожидание этой случайной величины, определим значение *риска завышения*

Замечание: издержки завышения и риск завышения измеряются в деньгах

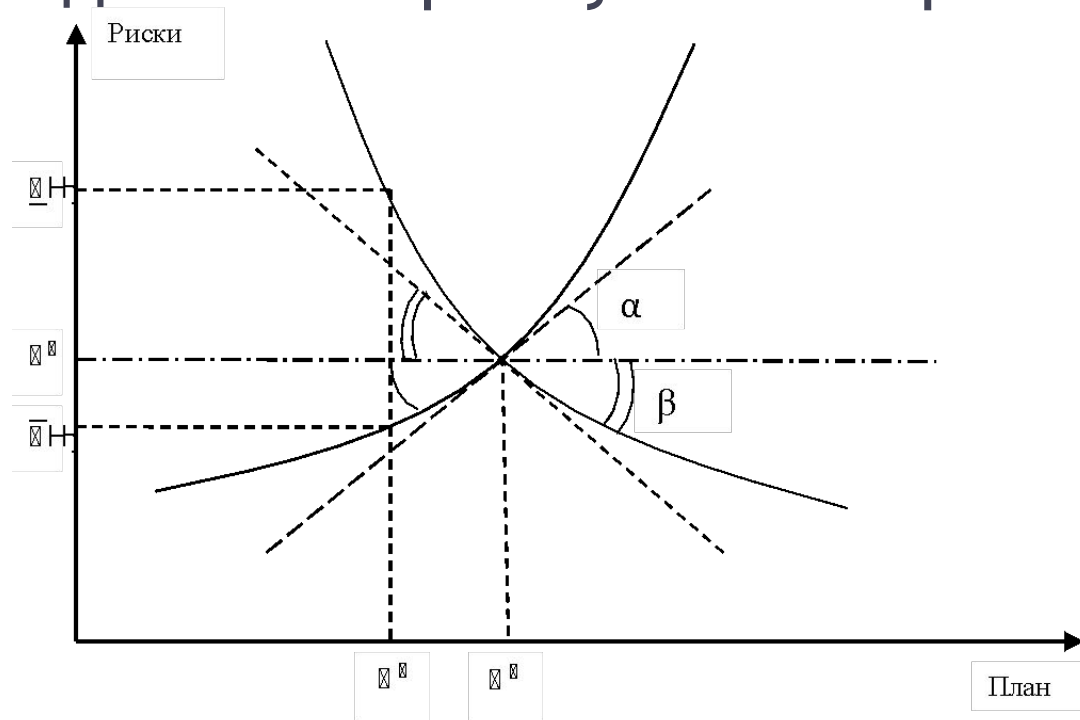


## Подход к решению задачи выбора в условиях риска

- Всякое отступление от оптимального плана поставки  $Q^0$  приводит к увеличению одного из рисков
- На практике мы всегда ориентируемся на больший из рисков, выбирая «большее из зол», и стремимся уменьшить именно его, т.е. больший из рисков
- Очень точно о текущем состоянии дел на рынке нас информирует показатель  $\frac{P}{Q} = \frac{P_{max}}{Q_{max}} \frac{Q_{min}}{P_{min}}$  («завышение/занижение»)
  - если  $\frac{P}{Q} = \frac{P_{max}}{Q_{max}} \frac{Q_{min}}{P_{min}} < 1$  это означает, что поставить на рынок товара меньше чем  $Q^0$  менее рискованно чем поставить его больше (такие условия имеют место при поставке товара с низкой себестоимостью производства и высокой продажной ценой)
  - если  $\frac{P}{Q} = \frac{P_{max}}{Q_{max}} \frac{Q_{min}}{P_{min}} > 1$  это значит, что поставить на рынок лишнюю единицу в  $\frac{P}{Q}$  раз более рискованно, чем поставить его на единицу меньше (такая ситуация наблюдается при поставке штучного товара с высокой себестоимостью производства)

 $Q^0$

# Визуализация факторов задействованных в решении задачи выбора в условиях риска



Пояснения:  $\langle \text{символ} \rangle$  определяет скорость (производную) изменения риска завышения в точке равновесия;  $\langle \text{символ} \rangle$  – определяет скорость (производную) изменения риска занижения в точке равновесия;  $\langle \text{символ} \rangle \langle \text{символ} \rangle \langle \text{символ} \rangle = -\frac{\langle \text{символ} \rangle}{\langle \text{символ} \rangle}$  отражает отношение «эластичности» завышения к «эластичности» занижения в окрестности оптимума



# Инструментарий и особенности практического решения задачи выбора в условиях риска

- Для формализованного описания равновесных случайных процессов разработан и успешно применяется аппарат эволюционно-симулятивного моделирования
- Разработка эволюционно-симулятивной модели исследуемого равновесного случайного процесса сводится к явному определению в виде функции или имитационной модели трёх основных моментов:
  - 1) влияния случайных факторов на исследуемый равновесный случайный процесс (систему). Простейшим примером может служить функция расчёта платёжеспособного спроса
  - 2) силы управляющего воздействия на исследуемый равновесный случайный процесс при его отклонении в сторону занижения. Простейший пример – функция издержек занижения
  - 3) силы управляющего воздействия на исследуемый равновесный случайный процесс в сторону завышения. Простейший пример – функция издержек завышения
- Наличие эволюционно-симулятивной модели исследуемого процесса системы позволяет для любого заданного плана поставки  $Q$  рассчитать его надёжность и показатель  $\bar{P} / \bar{Q}$ ; для любого заданного показателя  $\bar{P} / \bar{Q}$  рассчитать каким будет план и какова его надёжность; для любого заданного уровня надёжности рассчитать каким должен быть план поставки; исследовать влияние любого фактора на план, надёжность и показатель  $\bar{P} / \bar{Q}$  и решить много сопутствующих задач

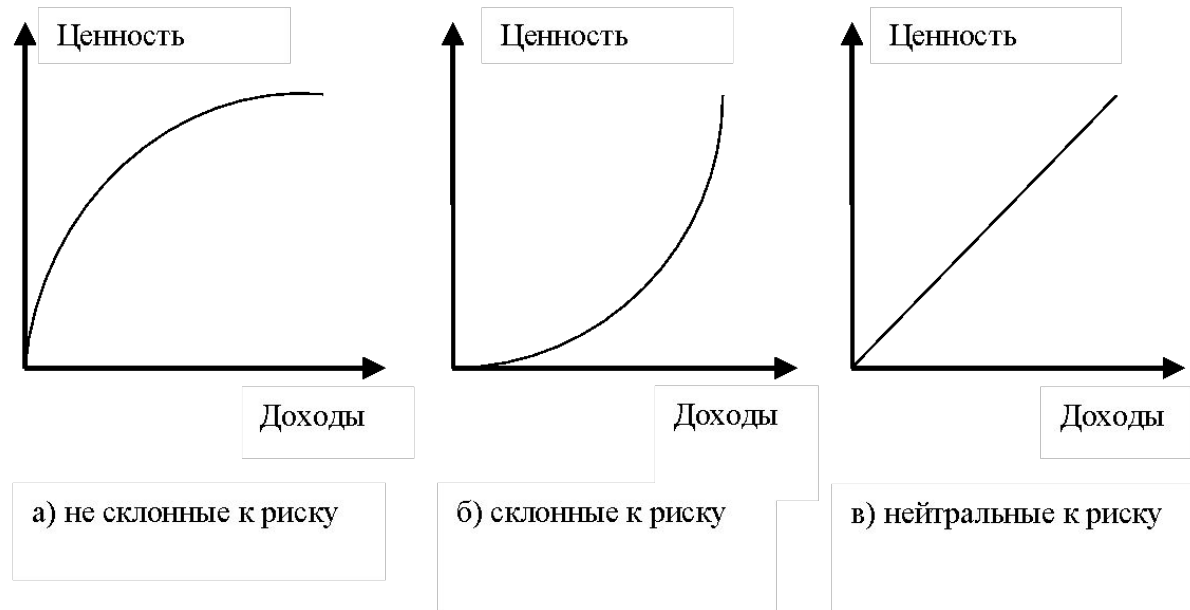
## Предпосылки поведенческого выбора

- На практике лица, принимающие решения, не очень доверяют результатам, полученным на основании проведения модельных экспериментов или решения оптимизационных задач
- Главная причина заключается в том, что фундаментальные понятия теории вероятностей, математической статистики и др. математических дисциплин, лежащих в основе модельных и оптимизационных решений, не относятся к числу интуитивных инструментов человеческих суждений
- Человек думает и принимает решения совсем не так как это описывают математические модели и классическая экономическая теория: он не обладает феноменальной памятью, не имеет упорядоченных предпочтений, не умеет вычислять вероятности различных событий и выносить логические суждения
- Как утверждают экономические психологи, человек разумный склонен систематически принимать решения, руководствуясь не рациональными, а интуитивными соображениями – поведенческими эвристиками

## Природа поведенческого выбора

- На основании психофизического анализа восприятия ценности и вероятности все человеческое сообщество разделяют на три больших группы:
  - не склонные к риску
  - склонные к риску
  - нейтральные к риску
- Исследуя этот вопрос Даниэль Бернулли еще в 1738 году пришел к выводу, что люди в основном не склонны к риску и, более того, принятие риска снижается с увеличением богатства
- Бернулли полагал что люди оценивают возможные варианты исходов игры не на основе ожидаемого денежного результата, а на основе ожидаемой субъективной ценности как средневзвешенной величины всех результатов, сопровождающих процесс игры

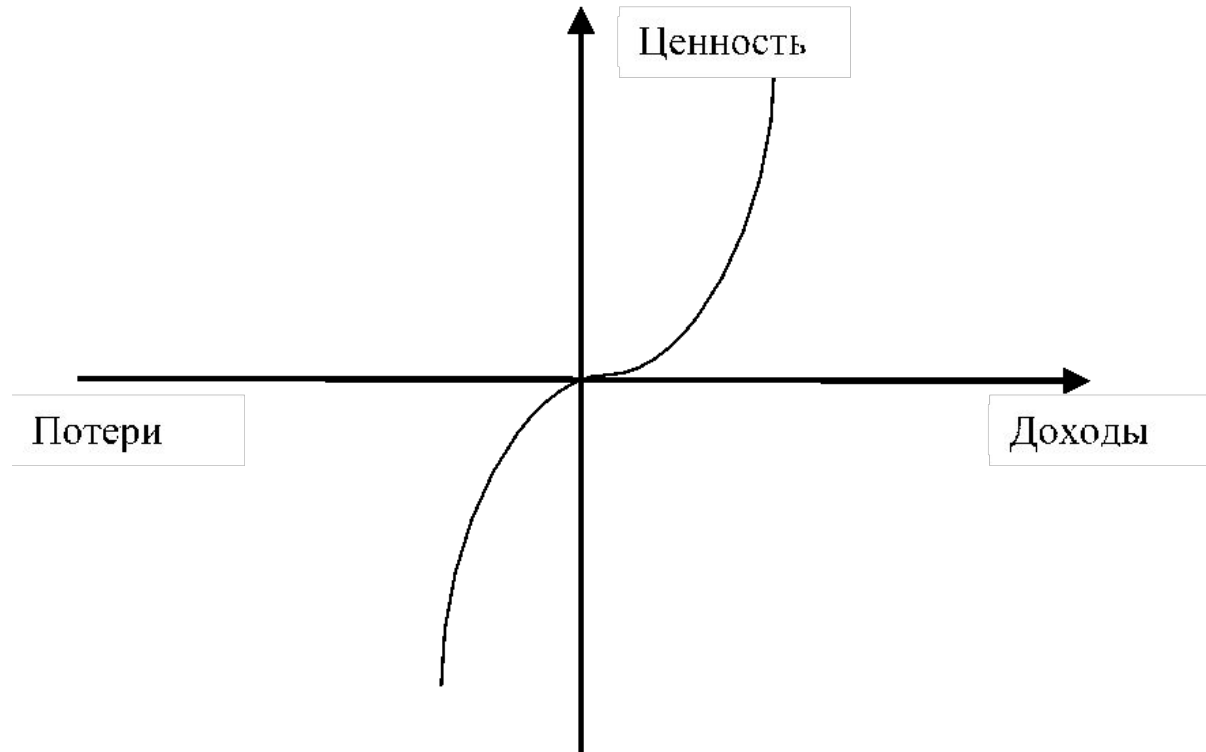
# Математическая визуализация человеческого восприятия ценности



## Пояснения:

- а) группу не склонных к риску образуют люди, чьи предпочтения выражаются вогнутой функцией ценности – функцией со снижающейся предельной ценностью капитала
- б) группу склонных к риску образуют люди, чьи предпочтения выражаются выпуклой функцией ценности – функцией с возрастающей предельной ценностью капитала
- в) группу нейтральных к риску образуют люди, чьи предпочтения выражены функцией с постоянной предельной ценностью капитала

# Гипотететическая функция ценности, определенная на области доходов и потерь



Пояснения: подмеченная Бернулли несклонность людей к риску, выражена существенно большей крутизной функции в области потерь

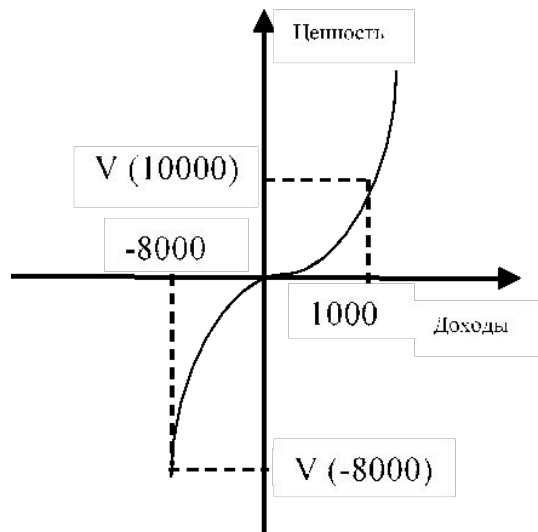
## Современное развитие теории субъективной ценности

- Дальнейшее развитие теории субъективной ценности получила в работах Даниэля Канемана и Амоса Тверски
- Исследуя вопросы выбора в условиях риска, они установили, что преобладающее число людей принимают такие решения, которые в точности соответствуют гипотетической функции ценности
- Функция Канемана-Тверски обладает двумя важными особенностями:
  - люди ассиметрично толкуют доходы и расходы (приобретения и потери), придавая больший вес расходам при принятии решений
  - люди сначала оценивают отдельные события, а затем суммируют эти оценки
- Отражая традиционное поведение людей, функция ценности Канемана-Тверски объясняет типичные случаи человеческого поведения, противоречащего рациональной логике выбора

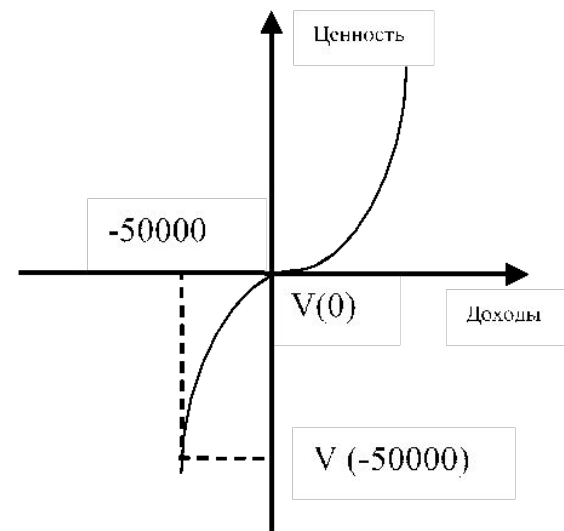
# Примеры субъективной оценки реальных явлений

Пример 1. Предположим, что одновременно в итоговом ящике вы обнаружили два извещения: извещение о гонораре на сумму 10.000 руб. за опубликованную научную статью (событие А) и счет на сумму 8.000 руб. оплаты коммунальных услуг (событие В)  $\Rightarrow$  Результат – огорчение

Пример 2. Представьте себе, что вы купили пару модных туфель за 50.000 руб. и вдруг обнаружили, что они вам тесны и причиняют боль.  $\Rightarrow$  Результат – будете носить чтобы не пропали инвестиции в имидж



а) оценка доходов и потерь



б) необратимые потери

## Определение и предметная область поведенческой экономики

- Поведенческая экономика не ограничивается изучением выбора людей на основании интуитивных соображений, которые еще называют *поведенческими эвристиками*
- Среди других поведенческих эвристик, подталкивающих людей к иррациональным решениям следует отметить:
  - *эвристику доступности*, в соответствии с которой более вероятным считается то явление, которое находится на виду, на слуху или производит более сильное впечатление
  - *эвристику типичности (репрезентативности)*, которая обуславливает типичный (культурный) выбор, а не логически продуманный (рассчитанный) выбор
  - *эвристику фиксирования и коррекции*, предполагающую выбор предварительной (базовой) оценки и последующую ее коррекцию на основании уточняющей информации

Определение: поведенческая экономика – это область экономики, которая изучает то, как социальные, когнитивные и эмоциональные факторы влияют на принятие экономических решений



## Резюме

- Приведенные здесь постановки задачи выбора в условиях неопределенности намного ближе к реальной жизни, чем постановка задачи критериального выбора
- Скучные сведения о подходах к их решению позволяют догадаться, что эти подходы не просты, а их результаты далеко не однозначны
- К решению одной и той же задачи можно подойти с различными математическими моделями
- Задачи реальной экономики очень сложны и простыми методами не решаются

## Темы для рефератов и эссе

- Коалиционные игры
- Успешные приложения эволюционно-симулятивных моделей
- Инструментальная поддержка эволюционно-симулятивного моделирования
- Сложившиеся направления поведенческой экономики