



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное  
автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Южный федеральный университет»



**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ В Г. ТАГАНРОГЕ**

---

КАФЕДРА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

**Учебно-методическое пособие  
для практических занятий  
по дисциплине**

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ**

**Ф А В Т**

Таганрог 2012

**УДК 681.51.01(075.8)**

Норкин О.Р., Парфёнова С.С. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Системный анализ». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. –64 с.

Учебно-методическое пособие предназначено оказывать помощь бакалавриантам, студентам и магистрантам кафедры СА и Т в изучении дисциплины «Системный анализ». Пособие включает в себя основные понятия, необходимые для выполнения практикума, и разбор этих понятий на примерах. Показаны роль и значение этих понятий для системных исследований и мотивированного выбора отдельных компонентов информационных систем.

Учебно-методическое пособие входит в УМК дисциплины «Системный анализ» и может быть использовано для всех форм и технологий обучения направления 230100 «Информатика и вычислительная техника» специализации 230102 «Автоматизированные системы обработки информации и управления». Но оно будет также полезно всем, кто интересуется системным подходом и его применениями в самых разных областях целенаправленной человеческой деятельности.

Ил. 3. Библиогр.: 15 назв.

Рецензент

Ю.И. Рогозов д.т.н., профессор.

© ТТИ ЮФУ, 2012

© О.Р. Норкин,  
С.С. Парфёнова, 2012

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Определения системного анализа .....	5
1.1. Системность – общее свойство материи .....	5
1.2. Понятие системного анализа.....	8
1.3. Понятие сложной системы. Автоматизированные системы управления.....	11
1.4. Основные понятия системного анализа.....	13
1.5. Классификация систем .....	15
1.6. Пример исследования системы.....	20
2. Метод, альтернативы, критерии, предположения, риски .....	23
3. Основы оценки сложных систем .....	25
3.1. Методы качественного оценивания систем .....	26
3.1.1. "Мозговая атака" или "коллективная генерация идей" .....	26
3.1.2. Методы типа сценариев .....	27
3.1.3. Методы экспертных оценок.....	29
3.1.4. Методы типа Дельфи .....	31
3.1.5. Методы типа дерева целей .....	32
3.1.6. Морфологические методы .....	33
3.1.7. Пример качественного оценивания системы .....	33
3.2. Методы количественного оценивания систем .....	35
3.2.1. Оценка сложных систем в условиях риска на основе функции полезности.....	37
3.2.2. Оценка сложных систем в условиях неопределённости .....	41
4. Количественные методы принятия решений (выбора альтернатив) .....	49
4.1. Метод SMART .....	49
4.2. Метод анализа иерархий .....	52
Заключение .....	62
Библиографический список .....	63

## ВВЕДЕНИЕ

Половина беспокойства в мире происходит от людей, пытающихся принимать решения без достаточного знания того, на чём основывается решение. Решение должно быть не любым, а оптимальным.

(А. Рапопорт, профессор)

Дисциплина, именуемая «системный анализ», родилась в силу возникшей необходимости вести исследования междисциплинарного характера. Создание сложных технических систем, проектирование сложных народнохозяйственных комплексов и управление ими, анализ экологических ситуаций и многие другие направления инженерной, научной и хозяйственной деятельности требовали организации исследований, которые носили бы нетрадиционный характер. Успешное развитие подобных междисциплинарных или, как иногда говорят, системных или комплексных исследований во многом обязано тем возможностям обработки информации, использованию математических методов, которые появились вместе с электронной вычислительной техникой.

Сегодня системный анализ – это обширная синтетическая дисциплина, включающая в себя целый ряд разделов, носящих характер самостоятельных научных дисциплин [1].

Применение системного анализа определяется типом проблем, которые мы рассмотрим.

Основными задачами системного анализа являются определение всего набора альтернатив решения проблемы и их сравнение с точки зрения затрат и эффективности при достижении определенной цели. Всякая сложная проблема включает множество различных факторов, которые не могут быть охвачены одной дисциплиной. Поэтому целесообразно создавать междисциплинарные группы специалистов, имеющих знания и квалификацию в различных областях.

Анализ каждой сложной системы – это уникальная проблема, требующая не только разносторонней культуры, но и изобретательства и таланта. В исследованиях сложных систем всегда присутствуют три этапа:

- 1) постановка задачи исследования;
- 2) построение математической модели исследуемого объекта;
- 3) решение поставленной математической задачи.

Таким образом, мы нуждаемся в упрощении систем, операций, процедур принятия решений и пр. Но этой простоты не так-то легко достичь. Это труднейшая задача. Старое высказывание: «Я пишу вам длинное письмо, так как у меня нет времени сделать его коротким», может быть перефразировано: «Я делаю это сложным, так как не знаю, как это сделать простым». Системный анализ решает эту задачу!

## **1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

### **1.1. СИСТЕМНОСТЬ – ОБЩЕЕ СВОЙСТВО МАТЕРИИ**

Системный подход к явлениям – одно из важнейших интеллектуальных свойств человека.

(В.Н. Спицнадель, профессор)

Современный этап развития теории и практики характеризуется повышением уровня системности. Ученые, инженеры, представители различных профессий оперируют такими понятиями, как системный или комплексный подход. Полезность и важность системного подхода вышла за рамки специальных научных истин и стала привычной, общепринятой. Такая ситуация явилась отражением объективных процессов развития представлений о материальном мире, сформировалась под воздействием объективных факторов.

«Свойство системности является всеобщим свойством материи. Современные научные данные и современные системные представления позволяют говорить о мире как о бесконечной иерархической системе систем» [2]. Причем части системы находятся в развитии, на разных стадиях развития, на разных уровнях системной иерархии и организации. Системность как всеобщее свойство материи проявляется через следующие составляющие: системность практической деятельности, системность познавательной деятельности и системность среды, окружающей человека.

Отметим очевидные и обязательные признаки системности:

– структурированность системы,

- взаимосвязанность составляющих ее частей,
- подчиненность организации всей системы определенной цели,
- алгоритмичность.

По отношению к человеческой деятельности эти признаки очевидны. Всякое осознанное действие преследует определенную цель. Во всяком действии достаточно просто увидеть его составные части, более мелкие действия. При этом легко убедиться, что эти составные части должны выполняться не в произвольном порядке, а в определенной их последовательности. Это и есть та самая определенная, подчиненная цели взаимосвязанность составных частей, которая и является признаком системности. Явная алгоритмизация любой практической деятельности является важным средством ее развития.

Системными являются также результаты практической деятельности. Следует отметить, что роль системных представлений в практике постоянно увеличивается, что растет сама системность человеческой деятельности. Данный тезис можно пояснить на примере проектирования технических объектов. Если раньше перед разработчиками новых образцов техники ставилась задача создания работоспособного объекта, то в настоящее время практика ставит задачу создания новых объектов с некоторыми оптимальными свойствами, т.е. к разрабатываемым образцам еще на этапе проектирования предъявляются требования оптимальности. Цели, которые ставятся перед разработчиками, таким образом, являются более глобальными, более сложными.

Далее отметим, что системным является само мышление. Успешное решение поставленной задачи зависит от того, насколько системно подходит специалист к ее анализу. Неудачи в решении тех или иных проблем связаны с отходом от системности, с игнорированием части существенных взаимосвязей компонентов системы. Разрешение возникшей проблемы осуществляется путем перехода на новый, более высокий уровень системности. В связи с этим можно отметить, что системность не столько состояние, сколько процесс.

Свойство системности присуще процессу познания. Системны знания, накопленные человечеством. В качестве особенности процесса познания отметим наличие аналитического и синтетического образов мышления. Анализ – это процесс, состоящий в разделении целого на части, в

представлении сложного в виде совокупности более простых компонент, но чтобы познать целое, сложное, необходим и обратный процесс – синтез. Это относится как к индивидуальному мышлению, так и к общечеловеческому знанию.

Свойство системности присуще результатам познания. В технических науках это реализуется в построении адекватных моделей, являющихся отражением исследуемых объектов, моделей, описывающих динамическое поведение материальных объектов.

Системна также среда, окружающая человека. Свойство системности является естественным свойством природы. Как уже отмечалось, окружающий нас мир есть бесконечная система систем, иерархическая организация все более сложных объектов. Причем как в живой, так и неживой природе действуют свои законы организации, являющиеся объективными биологическими или физическими законами.

Системно человеческое общество в целом. Системность человеческого общества выражается опять же во взаимосвязи развития отдельных структур (национальных, государственных, религиозных образований) и в их взаимном влиянии друг на друга. Причем следует отметить, что уровень системности человеческого общества постоянно увеличивается. Системность необходимо, таким образом, рассматривать в историческом аспекте. В древнем мире племена жили отдаленно друг от друга, и уровень общения между ними был минимален, в современном обществе события, происходящие в одних государствах, находят отклик и имеют влияние в различных частях мира.

Системны взаимодействия человека со средой. В данном аспекте системность выражается в необходимости комплексного учета всех особенностей и возможных воздействий факторов внешней среды на ее состояние в последующие моменты. В случае недостаточной проработки данных вопросов, игнорирования ряда факторов, наблюдается возникновение проблемы в развитии природы, негативное воздействие на хозяйственную и культурную деятельность человека. Примеров тому можно привести множество. Скажем, строительство гидроэлектростанций в равнинной части континента привело к заболачиванию мест, к нарушению экологической ситуации в данном регионе, к изменению климата. Применение различных химикатов ненадлежащего качества и в необоснованном коли-



честве привело к непоправимым последствиям в развитии региона Аральского моря. Таким образом, можно сделать вывод, что игнорирование системности взаимодействия человека со средой приводит к возникновению проблемы в развитии среды обитания и соответственно во взаимодействии природы и общества.

## 1.2. ПОНЯТИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА.

### ПРОБЛЕМА И ЦЕЛЬ

Системный анализ как дисциплина сформировался в результате возникновения необходимости исследовать и проектировать сложные системы, управлять ими в условиях неполноты информации, ограниченности ресурсов и дефицита времени. Системный анализ является дальнейшим развитием целого ряда дисциплин, таких как исследование операций, теория оптимального управления, теория принятия решений, экспертный анализ, теория организации эксплуатации систем и т.д. Для успешного решения поставленных задач системный анализ использует всю совокупность формальных и неформальных процедур. Перечисленные теоретические дисциплины являются базой и методологической основой системного анализа. Таким образом, **системный анализ – междисциплинарный курс, обобщающий методологию исследования сложных технических, природных и социальных систем** [2]. Широкое распространение идей и методов системного анализа, а главное – успешное их применение на практике стало возможным только с внедрением и повсеместным использованием ЭВМ. Именно применение ЭВМ как инструмента решения сложных задач позволило перейти от построения теоретических моделей систем к широкому их практическому применению. Центральной проблемой системного анализа является проблема принятия решения. Применительно к задачам исследования, проектирования и управления сложными системами проблема принятия решения связана с выбором определенной альтернативы в условиях различного рода неопределенности. Неопределенность обусловлена многокритериальностью задач оптимизации, неопределенностью целей развития систем, неоднозначностью сценариев развития системы, недостаточностью априорной информации о системе, воздействием случайных факторов в ходе динамического развития систе-



мы и прочими условиями. Учитывая данные обстоятельства, системный анализ (СА) – это методология решения проблем, основанная на структуризации систем и количественном сравнении альтернатив. Дадим другое определение. **Системный анализ – это методика улучшающего вмешательства в проблемную ситуацию с целью решения проблемы.**

Разрыв между действительным и желаемым содержит проблему. Решение проблемы – это искусство преодоления разрыва.

Проблему можно представить как две разделенные половины единого целого (рис.1).

Для человека и институтов, созданных человеком, во все времена исторического существования источником деятельности, перемещения, развития остается разница между «я есть» и «я буду».

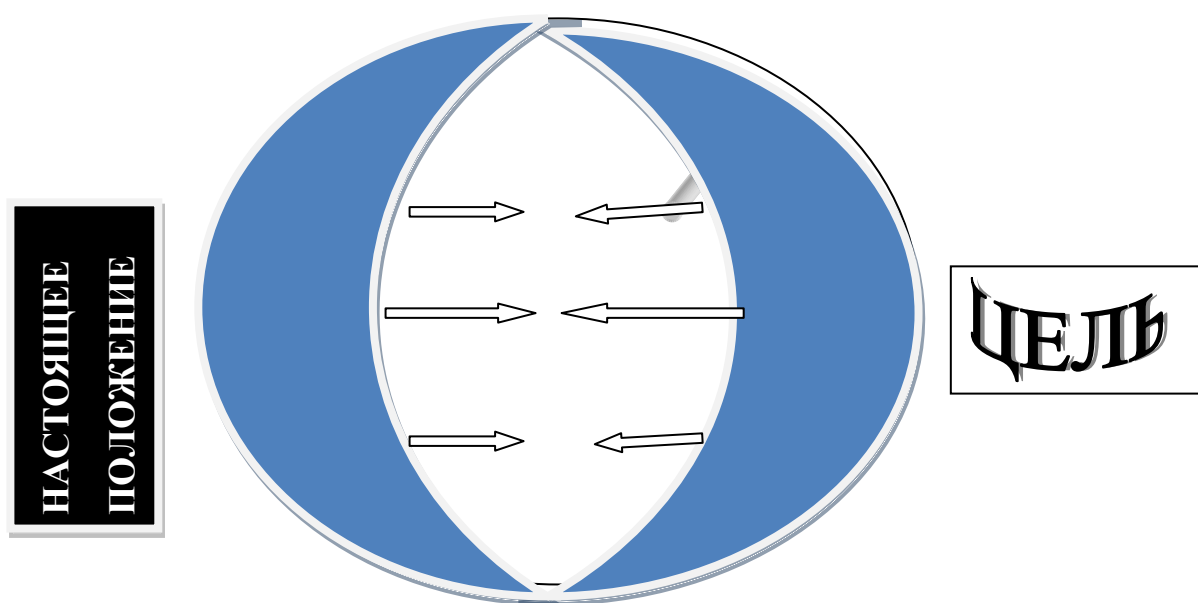


Рис.1. Решение проблемы

. Для преодоления разрыва можно использовать алгоритм «проблема-цель-методы».

Все проблемы в зависимости от глубины их познания подразделяются на три класса:

а) хорошо структурированные или количественно сформулированные проблемы, в которых существенные зависимости выяснены настолько хорошо, что они могут быть выражены в числах и символах, получающих в конце концов численные оценки;

б) неструктуризированные или качественно выраженные проблемы, содержащие лишь описание важнейших ресурсов, признаков и характеристик, количественные зависимости между которыми совершенно неизвестны;

в) слабо структуризированные или смешанные проблемы, которые содержат как качественные, так и количественные элементы, причем качественные малоизвестные и неопределенные стороны проблемы имеют тенденцию доминировать.

Для решения **хорошо структуризованных проблем** используется методология исследования операций (ИО). Она состоит в применении математических моделей и методов (линейного, нелинейного, динамического программирования, теории массового обслуживания, теории игр и т.д.) для отыскания оптимальной стратегии управления целенаправленными действиями. Основная проблема применения методов ИО состоит в том, чтобы правильно подобрать типовую или разработать новую математическую модель, собрать необходимые исходные данные и убедиться путем анализа исходных предпосылок и результатов математического расчета, что эта модель отражает существо решаемой задачи.

В **неструктуризованных проблемах** традиционным является эвристический метод, который состоит в том, что опытный специалист собирает максимум различных сведений о решаемой проблеме, «вживается» в нее и на основе интуиции и суждений вносит предложения о целесообразных мероприятиях.

При таком подходе отсутствует какая-либо упорядоченная логическая процедура отыскания решения, и специалист, выдвигающий определенные предложения, не может сколько-нибудь четко изложить способ, на основе которого он от совокупности разрозненных исходных сведений пришел к окончательным рекомендациям. При решении проблемы такой специалист полагается на имеющийся собственный опыт, на опыт своих коллег, на интуицию, на профессиональную подготовленность, на изучение аналогичных проблем.

К **слабо структуризованным проблемам**, для решения которых предназначен системный анализ, относится большинство наиболее важных экономических, технических, политических и военно-стратегических задач крупного масштаба.

При осуществлении системного анализа в процессе структуризации проблемы некоторые ее элементы-подзадачи получают количественное выражение, и отношения между всеми элементами становятся все более определенными. Исходя из этого, в отличие от применения методов ИО, при использовании системного анализа совсем не обязательна первоначальная четкая и исчерпывающая постановка проблемы, эта четкость должна достигаться в процессе самого анализа и рассматривается как одна из его главных целей. Задачи методов ИО могут быть поставлены в количественной форме и решены на ЭВМ.

Решение проблемы определяется как деятельность, которая сохраняет или улучшает характеристики системы. Система есть средство, с помощью которого решается проблема. В хорошо сформулированной проблеме уже видно решение.

### 1.3. ПОНЯТИЕ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ.

#### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Объектом изучения системного анализа являются сложные системы. Понятие системы стало широко использоваться в XX веке. В повседневной жизни термин система используют в тех случаях, когда хотят охарактеризовать объект как нечто целое, сложное, о чем невозможно сразу дать представление. Предполагается, что для характеристики системы необходимо рассмотреть различные аспекты ее функционирования, проанализировать различные ее свойства. Отметим сразу, что в литературе встречается большое количество определений сложной системы. Все они отражают те или иные важные стороны данного объекта. Приведем ряд определений и проанализируем их.

В «Философском словаре» **система** определяется как «совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях и связях между собой и образующих некоторое целостное единство». Ю.И. Дегтярев [3] определяет систему следующим образом: «**Системой** называется упорядоченная совокупность материальных объектов (элементов), объединенных какими-либо связями (механическими, информационными), предназначенных для достижения определенной цели и достигающих ее наилучшим (по возможности) образом». В данном определении выделяется три

основных компоненты системы — элементы, связи и операции. Важной особенностью системы является то, что она создается или функционирует (если это естественная, а не искусственная система) для достижения определенной цели. То есть в результате динамического поведения системы решаются какие-то определенные задачи, которые в конечном итоге приводят к достижению глобальной цели функционирования или развития системы. Авторы монографии [2] определяют систему следующим образом: «**система** есть средство достижения цели» и «**система** есть совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как целое». Естественно, что эти два определения необходимо рассматривать в совокупности, так как они дополняют друг друга и в каждом из них акцент делается на определенные свойства системы.

Наибольший вклад в формализацию представлений о сложных системах был сделан в связи с развитием автоматизированных систем управления. Под **автоматизированной системой** (АС) понимается программно-аппаратный комплекс, выполненный на базе средств измерительной и вычислительной техники, предназначенный для решения задач управления на основе получения и использования моделей объекта управления [4]. В данном определении констатируется, что автоматизированная система является искусственной системой, создаваемой человеком. Для таких систем конечное состояние или цель функционирования задается заранее, а их поведение направлено на достижение поставленной цели. Цель автоматизированной системы состоит в решении выделенного набора задач автоматизации управления, как правило, поведением технического объекта.

Приведем еще одно определение системы. Автоматизированная система — это совокупность частей (технических средств, математических методов, коллектива исполнителей), образующая организационное комплексное единое целое и обеспечивающая решение требуемого набора задач автоматизации с заданной точностью в пределах ограничений во времени и стоимости. В данном определении уточняется состав элементов, из которых строится система. Укажем на основные свойства системы, которые всесторонне характеризуют ее.

Первая существенная особенность системы состоит в том, что система обладает новыми свойствами по сравнению с элементами, из которых она состоит. При этом система есть не просто механический набор элементов, а целенаправленное их соединение в виде определенных структур и взаимосвязей. Система есть организационное единство элементов. Нарушение взаимосвязей приведет к разрушению системы.

Вторая особенность систем состоит в том, что они обладают свойствами оптимальности. Системы проектируются с учетом критериев оптимальности и функционируют согласно построенным заранее оптимальным планам.

Следующая черта, которая отражается в определении системы, – это цель или назначение системы. Системы создаются для достижения какой-либо цели, для решения определенных задач. Не существует систем, не предназначенных ни для чего, не решающих никакие задачи. Любая система имеет свое предназначение.

Приведенные определения, тем не менее, не дают однозначного толкования, что считать системой, а что нет. Не устанавливают однозначных границ систем. И, действительно, система – понятие относительное. На одном уровне иерархии элемент системы сам является системой, на другом уровне система есть элемент более крупной системы. Поэтому определения системы должны дополняться классификациями и уточнениями.

## 1.4. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Представление о системе связывается с определенными понятиями. Рассмотрим их.

Под **элементом** понимают неделимую часть системы или некоторый объект, обладающий рядом важных свойств, внутренняя структура которого не рассматривается. Систему можно разделить на элементы различными способами, в зависимости от формулировки задачи или цели. Элементом системы может быть не только реальный объект, но и ряд его свойств, поэтому один и тот же объект можно отнести по различным свойствам.

Любую систему можно декомпозировать на конечное число частей, называемых **подсистемами**, каждую из которых, в свою очередь, можно

разделить на еще более мелкие подсистемы, вплоть до получения неделимых подсистем, называемых **элементами системы**. Отличие подсистемы от простой группы элементов состоит в том, что для подсистемы формулируются подцели её функционирования.

Если же части системы не обладают свойством целостности и способностью выполнять независимые функции, а представляют собой совокупности однородных элементов, то такие части принято называть **компонентами**.

Под **структурой** системы понимается устойчивый порядок внутренних пространственных связей между ее элементами, определяющий функциональное отношение между элементами, функциональное назначение системы и ее воздействие с внешней средой.

Под **целостностью** системы понимается принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих ее элементов. Или другими словами, свойства системы принципиально отличаются от свойств элементов, входящих в неё. Целостность системы также называют эмерджентностью системы (от английского слова emerge – возникать, появляться).

Система должна взаимодействовать со средой.

**Среда** – совокупность всех объектов, изменение свойств которых влияет на систему, а также объектов, чьи свойства меняются в результате поведения системы. В процессе использования граница между системой и средой может деформироваться.

Вид отношений между элементами, который проявляется как некоторый обмен взаимодействиями, называется **связью**. Это понятие характеризует и строение (статику) и функционирование (динамику) системы. Связь определяют как ограничение степени свободы элементов. Связь характеризуется направлением, силой и характером. По первому признаку связи делят на направленные и ненаправленные. По второму признаку различают сильные и слабые связи. По характеру выделяют связи подчинения, равноправные, генетические, связи управления. Различают также связи по направленности процессов – прямые и обратные. Обратные связи могут быть положительными, сохраняющими тенденции происходящих в системе изменений того или иного параметра, и отрицательными – противодействующими тенденциям изменения выходного параметра. Об-



ратная связь является основой приспособления систем к изменяющимся условиям существования, основой саморегулирования и развития систем. Как правило, выделяются внутренние и внешние связи. **Внешняя связь** – связь системы со средой.

Следующее важное понятие – **цель системы** – лежит в основе развития систем. Цели системы – желательные состояния или результаты поведения системы.

**Цель** – ситуация или область ситуаций, которая должна быть достигнута при функционировании системы за определенный промежуток времени. Цель можно также определить следующим образом: «**цель** – это субъективный образ (абстрактная модель) не существующего, но желаемого состояния среды, которое решило бы возникшую проблему». Цель – это положения, описывающие разрешение проблемы. Цели могут уточняться и изменяться на различных этапах проектирования. Цель находится в прямой зависимости от формулировки проблемы.

## 1.5. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

Сделаем попытку классифицировать системы. Известно, что классификацией называется распределение некоторой совокупности объектов на классы по наиболее существенным признакам. Признак или их совокупность, по которым объекты объединяются в классы, являются основанием классификации. Класс – это совокупность объектов, обладающих некоторыми признаками общности.

Анализ существующих классификаций с учетом логических правил деления всего объема понятий, связанных с системами, позволяет сформулировать следующие требования к построению классификации:

- в одной и той же классификации необходимо применять одно и то же основание;
- объем элементов классифицируемой совокупности должен равняться объему элементов всех образованных классов;
- члены классификации (образованные классы) должны взаимно исключать друг друга, т.е. должны быть непересекающимися;
- подразделение на классы (для многоступенчатых классификаций) должно быть непрерывным, т.е. при переходах с одного уровня иерархии



на другой необходимо следующим классом для исследования брать ближайший по иерархической структуре системы.

Итак, подходы к классификации систем могут быть самыми разными. Рассмотрим один из подходов:

- по виду отображаемого объекта системы делятся на технические, биологические, социальные и т.п.;
- по характеру поведения – детерминированные, вероятностные, игровые;
- по типу целеустремленности – открытые и закрытые;
- по сложности структуры и поведения – простые и сложные;
- по степени организованности – хорошо организованные, плохо организованные и самоорганизующиеся;
- по происхождению – искусственные, естественные;
- по типу операторов – чёрный ящик, белый ящик.

Рассмотрим некоторые из представленных видов классификации. Детерминированной называется система, состояние которой в будущем однозначно определяется ее состоянием в настоящий момент времени и законами, описывающими переходы элементов и системы из одних состояний в другие. Составные части в детерминированной системе взаимодействуют точно известным образом. Примером детерминированной системы может служить механический арифмометр, калькулятор и другие устройства.

Вероятностные или стохастические системы – это системы, поведение которых описывается законами теории вероятностей. Для вероятностной системы знание текущего состояния и особенностей взаимной связи элементов недостаточно для предсказания будущего поведения системы со всей определенностью. Для такой системы имеется ряд направлений возможных переходов из одних состояний в другие, т.е. имеется группа сценариев преобразования состояний системы, и каждому сценарию поставлена в соответствие своя вероятность. Примером стохастической системы может служить мастерская по ремонту электронной и радиотехники. Срок выполнения заказа по ремонту конкретного изделия зависит от количества аппаратуры, поступившей в ремонт до поступления рассматриваемого изделия, от характера повреждений каждого из нахо-

дящихся в очереди объектов, от количества и квалификации обслуживающего персонала и т.п.

Игровой является система, осуществляющая разумный выбор своего поведения в будущем. В основе выбора лежат оценки ситуаций и предполагаемых способов действий, выбираемых на основе заранее сформированных критериев, а также с учетом соображений неформального характера. Руководствоваться этими соображениями может только человек. Примером игровой системы может служить организация, выполняющая некоторые работы и выступающая в качестве исполнителя. Исполнитель вступает в отношения с заказчиком. Интересы исполнителя и заказчика противоположны. Исполнитель старается продать свою работу как можно выгоднее. Заказчик, наоборот, пытается сбить цену и соблюсти свои интересы. В данном торге между ними проявляется игровая ситуация.

Классификация по данному признаку условна, как и многое другое, касающееся характеристик сложных систем. Она допускает разные толкования принадлежности той или иной системы к сформированным классам. Так в детерминированной системе можно найти элементы стохастичности. С другой стороны, детерминированную систему можно считать частным случаем стохастической системы, если положить вероятности переходов из состояния в состояние соответственно равными нулю (перехода нет) и единице (переход имеет место). Точно так же стохастическую систему можно рассматривать как частный случай игровой, когда идет игра с природой.

**По типу целеустремленности** – открытые и закрытые системы. По данному признаку классификации системы характеризуются различной степенью взаимодействия с внешней средой. Открытые системы обладают особенностью обмениваться с внешней средой массой, энергией, информацией. Замкнутые (или закрытые) системы изолированы от внешней среды. Предполагается, что разница между открытыми и замкнутыми системами определяется с точностью до принятой чувствительности модели.

**По степени сложности** системы подразделяются на простые, сложные и очень сложные. Простые системы характеризуются небольшим количеством возможных состояний, их поведение легко описывается в рамках той или иной математической модели. Сложные системы отличаются

разнообразием внутренних связей, но допускают их описание. Причем набор методов, привлекаемых для описания сложных систем, как правило, многообразен, т.е. для построения математической модели сложной системы применяются различные подходы и разные разделы математики. Очень сложные системы характеризуются большой разветвленностью связей и своеобразностью отношений между элементами. Многообразие связей и отношений таково, что нет возможности все их выявить и проанализировать. Простыми системами можно считать лентопротяжные механизмы, механические передачи, системы слежения за целью и т.д. Сложными системами являются электронно-вычислительная машина, система управления и защиты энергоблока, система электроснабжения промышленного объекта и пр. Очень сложными являются социотехнические системы, такие как автоматизированные системы управления крупным предприятием, экспертные системы с функциями поддержки и принятия управленческих решений.

Классификация **по признаку организованности** систем впервые была предложена В.В. Налимовым [5]. Под хорошо организованной системой понимается система, у которой определены все элементы, их взаимосвязь, правила объединения в более крупные компоненты, определены связи между всеми компонентами и целями системы, ради достижения которых создается или функционирует система. При этом подразумевается, что все элементы системы с их взаимосвязями между собой, а также с целями системы можно отобразить в виде аналитических зависимостей. При формулировании задачи принятия решения для хорошо организованной системы проблемная ситуация описывается в виде математического выражения, критерия эффективности, критерия функционирования системы, который может быть представлен сложным уравнением, системой уравнений, сложными математическими моделями, включающими в себя и уравнения, и неравенства, и т.п. Примером хорошо организованной системы может служить сложное электронное устройство. Описание его работы производят с помощью системы уравнений, учитывающих условия функционирования, в том числе наличие шумов, нестабильность электропитания и т.д.

При представлении объекта в виде плохо организованной системы не ставится задача определить все учитываемые компоненты, их свойства и

связи между собой, а также с целями системы. Для плохо организованной системы формируется набор макропараметров и функциональных закономерностей, которые будут ее характеризовать. Определение этих параметров и восстановление функциональных зависимостей осуществляется на основании некоторой выборочной информации, характеризующей исследуемый объект или процесс. Далее полученные оценки характеристик распространяют на поведение системы в целом. При этом предполагается, что полученный результат обладает ограниченной достоверностью и его можно использовать с некоторыми оговорками. Так, например, если результат получен на основании статистических наблюдений за функционированием системы на ограниченном интервале времени, т.е. на основании выборочных наблюдений, то его можно использовать с некоторой доверительной вероятностью. Примером применения подхода к отображению объектов в виде плохо организованной системы можно считать оценивание характеристик надежности системы с множеством компонентов. В данном случае характеристики надежности группы однотипных элементов определяются на основании выборочной информации, полученной в результате наблюдений за их работой на ограниченном отрезке времени при определенных уровнях воздействующих факторов. Затем полученные оценки распространяются на весь период эксплуатации объекта. Данные оценки используются при проведении расчетов характеристик надежности всей системы.

Самоорганизующиеся системы – это системы, обладающие свойством адаптации к изменению условий внешней среды, способные изменять структуру при взаимодействии системы со средой, сохраняя при этом свойства целостности, системы, способные формировать возможные варианты поведения и выбирать из них наилучшие. Эти особенности обусловлены наличием в структуре системы активных элементов, которые, с одной стороны, обеспечивают возможность адаптации, приспособления системы к новым условиям существования, с другой стороны, вносят элемент неопределенности в поведение системы, чем затрудняют проведение анализа системы, построение ее модели, формальное ее описание и, в конечном счете, затрудняют управление такими системами. Примерами самоорганизующихся систем могут служить биологические системы,

предприятия и их система управления, городские структуры управления и т.д.

**По происхождению** сложные системы допустимо делить на искусственные и естественные (природные). Искусственные системы, как правило, отличаются от природных наличием определенных целей функционирования (назначением) и наличием управления.

Классификация **по типу операторов** системы предусматривает классификацию по типам связей между входными и выходными переменными. Критерием в данной классификации является известность внутренних операторов системы. В чёрном ящике ничего не известно про внутренние операторы системы. Если параметры по связям входных и выходных переменных заданы точно, то всякая неопределённость исчезает и мы имеем системы с полностью определёнными внутренними операторами, то такая ситуация называется белый ящик.

## **1.6. ПРИМЕР ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ**

### **Постановка задачи**

Задан объект для исследований – сердечно-сосудистая система (ССС) человека. Необходимо процесс функционирования системы отобразить структурной схемой, выделив в ней элементы, подсистемы, связи и доказать, что объект представляет собой систему. Для этого необходимо определить, существуют ли признаки системности для объекта, определить цель (цели) системы, классифицировать систему по классификационным критериям. Описать систему, определить внешнюю среду и провести грань между объектом и внешней средой (надсистемой), показав их взаимодействие, результат функционирования системы (выходной продукт системы).

### **Решение задачи**

#### **Структурная схема системы**

На рис. 2 видно, из каких структурных частей состоит система – подсистемы, элементы, среда, связи.

**Целью** сердечно-сосудистой системы является выполнение транспортной функции. Проходя по сети сосудов, кровь переносит кислород,

питательные вещества, необходимые для функционирования внутренних органов человека.

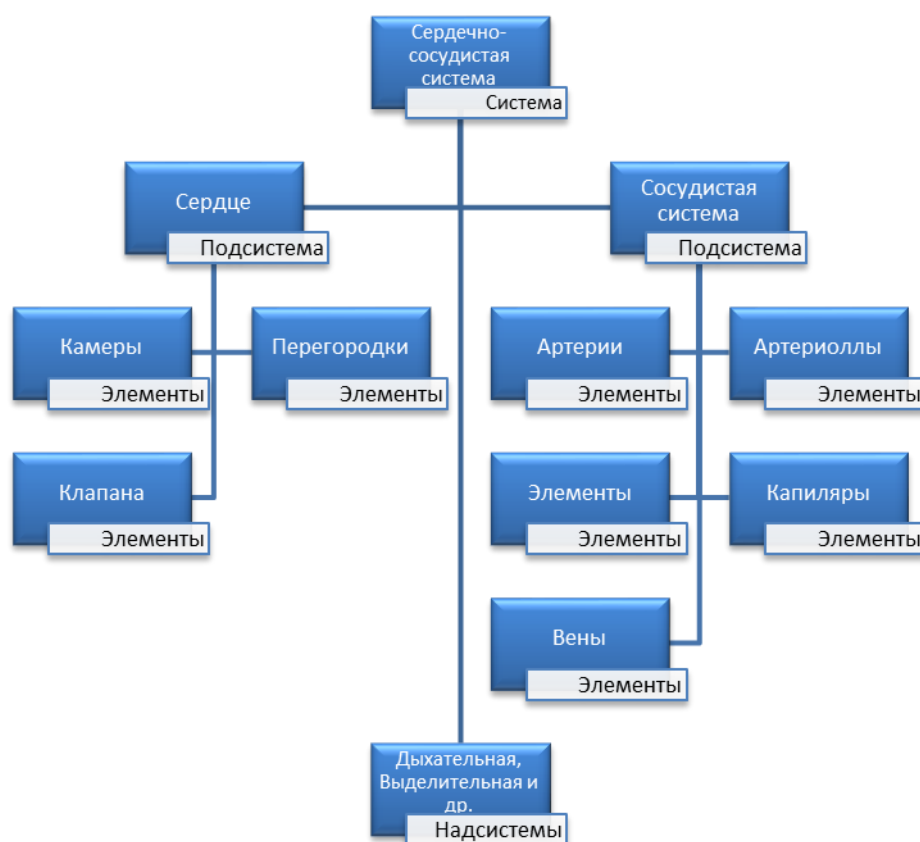


Рис. 2. Структурная схема сердечно-сосудистой системы

### Описание системы

Сердечно-сосудистая система – система органов, которая обеспечивает циркуляцию крови по организму человека и животных.

Сердечно-сосудистая система сама по себе является одной из подсистем жизнеобеспечения жизни человека, т. е. внешней средой являются системы органов человека. Изменение их свойств влияет на поведение рассматриваемой системы. Связь системы со средой является внешней. Связи между элементами, изображенные на схеме, являются внутренними.

Подсистемами ССС являются сердце и сосудистая система. В свою очередь они делятся на элементы, неделимые части системы. Если бы эта система рассматривалась с точки зрения химика, то элементы бы служили подсистемами, так как мы разложили бы их на молекулы, и так далее.

Сердечно-сосудистая система является целостной, так как свойства системы принципиально отличаются от свойств элементов, в нее входящих. Целостность можно назвать эмерджентностью системы.



## **Признаки системы**

Структурируемость – данная система построена на основе четкой структуры (рис. 2).

Взаимосвязанность – элементы кровеносной и сосудистой (основных подсистем) взаимодействуют друг с другом.

Подчиненность организации всей системы определённой цели.

Алгоритмичность – система подчинена алгоритму работы по обеспечению всем необходимым органов человека.

## **Классификация**

По виду отображаемого объекта: биологическая. ССС является подсистемой внутренних органов человека и животных, т.е. частью биологического организма.

По характеру поведения: детерминированная. Поведение данной системы предсказуемо и описывается известными законами.

По типу целеустремленности: открытая. Кровеносная система снабжает питательными веществами и кислородом органы и отводит продукты жизнедеятельности, т. е. данная система открыта к внешней среде.

По сложности структуры и поведения: сложная. Сложная структура ССС обусловлена двумя ее сложными подсистемами: сердце обеспечивает постоянно необходимое давление в сосудах, которые, в свою очередь, опутывают обширной сетью все тело человека.

По степени организованности: самоорганизующаяся. ССС – самоорганизующаяся система, так как она способна приспосабливаться к изменениям внешней среды. Например, при повреждении сосудов система способна самовосстанавливаться.

По происхождению: естественная.

По типу операторов: белый ящик. Законы функционирования ССС детально изучены и всё известно про её внутренние «операторы».

**Вывод:** итак, мы доказали, что сердечно-сосудистая система человека действительно является сложной системой и она обладает всеми признаками, присущими системе.



## 2. МЕТОД, АЛЬТЕРНАТИВЫ, КРИТЕРИИ, РИСКИ

Важно понимать различие между методом и методологией. Дадим несколько определений метода.

**Метод** – способ теоретического исследования или практического осуществления чего-либо [6]. Метод (от греч. *méthodos* – путь исследования или познания, теория, учение), совокупность приёмов или операций практического или теоретического освоения действительности, подчинённых решению конкретной задачи [7].

**Методология** – учение о научном методе вообще или о методах отдельных наук [6]. Методология – (от греч. *Methodos* – исследование + *Logos* – учение) – система наиболее общих принципов, положений и методов, составляющих основу той или иной науки [7].

Системный анализ, используя свою методологию, стремится исследовать как единое целое стоимость, продолжительность и эффективность решения проблем. Сделать это позволяет формальное рассмотрение альтернатив, предположений, критериев и риска. Подразумевается, что решаемая проблема является сложной и не тривиальной. Предполагается, что проблема только частично количественная или слабоструктурированная. По мере того как проблема становится все менее подходящей для количественного описания, формализм становится все менее и менее строгим (менее математическим).

При решении проблемы первая задача состоит в том, чтобы определить набор объектов, подлежащих анализу. Набор объектов, взятый как целое, представляет собой **альтернативу**. Оценка альтернатив является средством отбора решений или целей. Отдельное решение проблемы может быть получено многими альтернативными процедурами. Альтернативы могут иметь или не иметь количественно определяемые аспекты. Например, число людей или число частей оборудования являются количественно определяемыми. Тип рынка, степень влияния рынка или расположение рынка могут быть только частично количественно определяемыми. Наличие альтернатив предполагает способность сделать выбор между двумя или более приемлемыми решениями.

**Критерий** является средством, с помощью которого измеряются или выбираются альтернативы. Критерий заставляет специалиста по анализу

систем показывать логичность в выборе его предпочтений. Критерий есть стандарт, с помощью которого может быть вынесено суждение об относительной выгоде выбора.

**Риск** является мерой потенциальной подверженности недостаткам. Высокий риск может также характеризоваться низкой статистической вероятностью, хотя точная мера риска не всегда может быть количественно определимой. Для описания риска в сложных количественно-качественных проблемах используется термин «неопределенность». При таком использовании термин «**неопределенность**» означает относительное правдоподобие фактически случившегося события. Риск или неопределенность могут проявляться на всем протяжении процесса решения проблемы. Риск увеличивается, если, например, критерии внутренне непригодны для измерения того, что ими измеряется. Риск также возрастает, если предположения, принятые как истинные, оказываются ложными. Риск может возникнуть как доминирующая характеристика альтернативы, которая была выбрана из-за неучтенных ошибок обратной связи выхода с входом.

## **ВЫБОР АЛЬТЕРНАТИВ**

Чтобы альтернатива была принята к рассмотрению, она должна быть приемлемым потенциальным решением поставленной проблемы. В случае, если альтернативы сравнимы, устанавливается различие между ними. Если же они несравнимы, то устанавливается, в чем они несравнимы.

Существуют две общие формы альтернатив: функционально различные альтернативы (разница в виде) или операционно различные альтернативы (разница в степени). Функциональную форму альтернативы можно продемонстрировать с помощью парусной лодки и одномоторного самолета, которые могут быть определены как альтернативные решения одной и той же задачи. Операционная форма альтернатив может быть пояснена с помощью трех альтернативных версий одной и той же конструкции автомобиля, выпускаемых для решения одной и той же задачи. Функциональные альтернативы отличаются средствами решения задач. Операционные альтернативы отличаются способами, которыми объекты, свойства и связи агрегируются в систему.

## **ВЫБОР КРИТЕРИЕВ**

Существует два основных способа, позволяющих справиться с трудностями выбора критериев: первый требует, чтобы большая, сложная проблема была определена с помощью таких же широких критериев; другой способ состоит в том, чтобы разбить большую сложную систему на небольшие группы и сконструировать подходящие узкие критерии для каждой группы.

Критерии устанавливаются покупателем системы или тем, кто решает проблему. Они являются средством, с помощью которого оцениваются альтернативные решения. Применение критерия дает возможность принять или исключить определенное число решений. Приемлемые решения сравниваются, чтобы отобрать доминирующее или превосходящее. Критерий является измерителем цели. Приемлемость решения еще не означает его пригодности для отбора. Должен быть оценен относительный риск, содержащийся в каждом приемлемом решении.

## **ОЦЕНКА РИСКА**

Риск может проявляться двумя способами. Во-первых, требования к системе могут быть выражены неадекватно; во-вторых, модель для определения характеристик системы может быть неудачной. Требования к системе относятся к полному диапазону входа данной системы, включая людей, машины, материалы, устройства и капитал. В любой из этих категорий существенные ошибки приведут к увеличению ожидаемого риска.

## **3. ОСНОВЫ ОЦЕНКИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

Метод целостного подхода имеет важнейшее значение в становлении более высокой ступени мышления.  
(И.В. Блауберг, Б.Г. Юдин, философы)

Системный анализ не существует без выбора оптимального решения проблемы из множества альтернатив. Это невозможно без сравнения характеристик альтернатив и, как следствие, без процедуры оценивания.

Оценка сложных систем выполняется с разными целями [8]:

– оптимизация (например, выбор наилучшего алгоритма реализации закона функционирования);

- идентификация (определение системы, которая по своим качествам наиболее полно соответствует заданным условиям);
- принятие решения по управлению системой.

Под **оценкой** понимается результат, полученный в ходе процесса оценивания. Предполагается, что истинная оценка может быть получена только при правильно организованном процессе оценивания.

Методы оценивания систем разделяются на качественные и количественные.

**Качественные** методы используются на начальных этапах моделирования, если реальная система не может быть выражена в количественных характеристиках и отсутствуют описания закономерностей систем в виде аналитических зависимостей. В результате такого моделирования разрабатывается концептуальная модель системы.

**Количественные** методы используются на последующих этапах моделирования для количественного анализа вариантов системы (альтернатив).

### **3.1. МЕТОДЫ КАЧЕСТВЕННОГО ОЦЕНИВАНИЯ СИСТЕМ**

Качественные методы измерения и оценивания характеристик систем, используемые в системном анализе, достаточно многочисленны и разнообразны.

К основным методам качественного оценивания систем относят:

- методы типа мозговой атаки или коллективной генерации идей;
- типа сценариев;
- экспертных оценок;
- типа Дельфи;
- типа дерева целей;
- морфологические методы.

#### ***3.1.1. «МОЗГОВАЯ АТАКА» ИЛИ «КОЛЛЕКТИВНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ИДЕЙ»***

Концепция «мозговая атака» получила широкое распространение с начала 50-х гг. как метод тренировки мышления, нацеленный на открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивно-

го мышления. Методы этого типа известны также под названиями «мозговой штурм», «конференция идей», «коллективная генерация идей» (КГИ).

Обычно при проведении сессий КГИ стараются выполнять определенные правила, суть которых:

- обеспечить как можно большую свободу мышления участников КГИ и высказывания ими новых идей;
- приветствовать любые идеи, даже если вначале они кажутся сомнительными или абсурдными (обсуждение и оценка идей производятся позже);
- не допускать критики любой идеи, не объявлять ее ложной и не прекращать обсуждение;
- желательно высказывать как можно больше идей, особенно нетривиальных.

В зависимости от принятых правил и жесткости их выполнения различают прямую «мозговую атаку», метод обмена мнениями и другие виды коллективного обсуждения идей и вариантов принятия решений. В последнее время стараются ввести правила, помогающие сформировать некоторую систему идей, т.е. предлагается, например, считать наиболее ценными те из них, которые связаны с ранее высказанными и представляют собой их развитие и обобщение. Участникам не разрешается зачитывать списки предложений, которые они подготовили заранее. В то же время, чтобы предварительно нацелить участника на обсуждаемый вопрос, при организации сессий КГИ заранее или перед началом сессии участникам представляется некоторая предварительная информация об обсуждаемой проблеме в письменной или устной форме. Подобием сессий КГИ можно считать разного рода совещания, заседания научных советов по проблемам, заседания специально создаваемых временных комиссий и другие собрания компетентных специалистов.

### ***3.1.2. МЕТОДЫ ТИПА СЦЕНАРИЕВ***

Методы подготовки и согласования представлений о проблеме или анализируемом объекте, изложенные в письменном виде, получили название сценария. Первоначально этот метод предполагал подготовку текста, содержащего логическую последовательность событий или возмож-

ные варианты решения проблемы, упорядоченные по времени. Однако требование временных координат позднее было снято, и сценарием стали называть любой документ, содержащий анализ рассматриваемой проблемы или предложения по ее решению независимо от того, в какой форме он представлен.

Сценарий не только предусматривает содержательные рассуждения, которые помогают не упустить детали, обычно не учитываемые при формальном представлении системы (в этом и заключалась первоначально основная роль сценария), но и содержит результаты количественного технико-экономического или статистического анализа с предварительными выводами, которые можно получить на их основе. Группа экспертов, подготавливающих сценарии, пользуется правом получения необходимых справок от организаций, консультаций специалистов. Понятие сценариев расширяется в направлении как областей применения, так и форм представления и методов их разработки: в сценарий не только вводятся количественные параметры и устанавливаются их взаимосвязи, но и предлагаются методики составления сценариев с использованием ЭВМ.

На практике по типу сценариев разрабатывались прогнозы в некоторых отраслях промышленности. В настоящее время разновидностью сценариев можно считать предложения к комплексным программам развития отраслей народного хозяйства, подготавливаемые организациями или специальными комиссиями. Существенную помощь в подготовке сценариев оказывают специалисты по системному анализу. Весьма перспективной представляется разработка специализированных информационно-поисковых систем, накапливающих прогнозную информацию по данной отрасли и по смежным отраслям.

Сценарий является предварительной информацией, на основе которой проводится дальнейшая работа по прогнозированию или разработке вариантов проекта. Таким образом, сценарий помогает составить представление о проблеме, а затем приступить к более формализованному представлению системы в виде графиков, таблиц для проведения других методов системного анализа.



### 3.1.3. МЕТОДЫ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Группа методов экспертных оценок наиболее часто используется в практике оценивания сложных систем на качественном уровне. Термин «эксперт» происходит от латинского слова *expert* – «опытный».

При использовании экспертных оценок обычно предполагается, что мнение группы экспертов надежнее, чем мнение отдельного эксперта. В некоторых теоретических исследованиях отмечается, что это предположение не является очевидным, но одновременно утверждается, что при соблюдении определенных требований в большинстве случаев групповые оценки надежнее индивидуальных. К числу таких требований относятся: распределение оценок, полученных от экспертов, должно быть «гладким»; две групповые оценки, данные двумя одинаковыми подгруппами, выбранными случайным образом, должны быть близки.

Все множество проблем, решаемых методами экспертных оценок, делится на два класса. К первому классу относятся такие, в отношении которых имеется достаточное обеспечение информацией. При этом методы опроса и обработки основываются на использовании принципа «хорошего измерителя», т.е. эксперт – источник достоверной информации; групповое мнение экспертов близко к истинному решению. Ко второму классу относятся проблемы, в отношении которых знаний для уверенности и справедливости указанных гипотез недостаточно. В этом случае экспертов нельзя рассматривать как «хороших измерителей» и необходимо осторожно подходить к обработке результатов экспертизы.

Экспертные оценки несут в себе как узко-субъективные черты, присущие каждому эксперту, так и коллективно-субъективные, присущие коллегии экспертов. И если первые устраняются в процессе обработки индивидуальных экспертных оценок, то вторые не исчезают, какие бы способы обработки не применялись.

Этапы экспертизы: формирование цели, разработка процедуры экспертизы, формирование группы экспертов, опрос, анализ и обработка информации.

При формулировке цели экспертизы разработчик должен выработать четкое представление о том, кем и для каких целей будут использованы результаты.



При обработке материалов коллективной экспертной оценки используются методы теории ранговой корреляции. Для количественной оценки степени согласованности мнений экспертов применяется коэффициент конкордации  $W$ , который позволяет оценить, насколько согласованы между собой ряды предпочтительности, построенные каждым экспертом. Его значение находится в пределах  $0 < W < 1$ , где  $W = 0$  означает полную противоположность, а  $W = 1$  – полное совпадение ранжировок. Практически достоверность считается хорошей, если  $W = 0,7–0,8$ .

Небольшое значение коэффициента конкордации, свидетельствующее о слабой согласованности мнений экспертов, является следствием того, что в рассматриваемой совокупности экспертов действительно отсутствует общность мнений или внутри рассматриваемой совокупности экспертов существуют группы с высокой согласованностью мнений, однако обобщенные мнения таких групп противоположны.

Для наглядности представления о степени согласованности мнений двух любых экспертов  $A$  и  $B$  служит коэффициент парной ранговой корреляции  $r$ , он принимает значения  $-1 < r < +1$ . Значение  $r = +1$  соответствует полному совпадению оценок в рангах двух экспертов (полная согласованность мнений двух экспертов), а значение  $r = -1$  – двум взаимно противоположным ранжировкам важности свойств (мнение одного эксперта противоположно мнению другого).

Тип используемых процедур экспертизы зависит от задачи оценивания.

К наиболее употребительным процедурам экспертных измерений относятся [8]:

- ранжирование;
- парное сравнение;
- множественное сравнение;
- непосредственная оценка;
- метод Черчмена-Акоффа;
- метод Терстоуна;
- метод фон Неймана – Моргенштерна.

### **3.1.4. МЕТОДЫ ТИПА ДЕЛЬФИ**

В отличие от традиционных методов экспертной оценки метод Дельфи предполагает полный отказ от коллективных обсуждений. Это делается для того, чтобы уменьшить влияние таких психологических факторов, как присоединение к мнению наиболее авторитетного специалиста, нежелание отказаться от публично выраженного мнения, следование за мнением большинства. В методе Дельфи прямые дебаты заменены программой последовательных индивидуальных опросов, проводимых в форме анкетирования. Ответы обобщаются и вместе с новой дополнительной информацией поступают в распоряжение экспертов, после чего они уточняют свои первоначальные ответы. Такая процедура повторяется несколько раз до достижения приемлемой сходимости совокупности высказанных мнений. Результаты эксперимента показали приемлемую сходимость оценок экспертов после пяти туров опроса.

Метод Дельфи первоначально был предложен О. Хелмером как итеративная процедура «мозговой атаки», которая должна помочь снизить влияние психологических факторов и повысить объективность результатов. Однако почти одновременно Дельфи-процедуры стали основным средством повышения объективности экспертных опросов с использованием количественных оценок при оценке деревьев цели и при разработке сценариев за счет использования обратной связи, ознакомления экспертов с результатами предшествующего тура опроса и учета этих результатов при оценке значимости мнений экспертов.

Процедура Дельфи-метода заключается в следующем:

- 1) организуется последовательность циклов «мозговой атаки»;
- 2) разрабатывается программа последовательных индивидуальных опросов с помощью вопросников, исключающая контакты между экспертами, но предусматривающая ознакомление их с мнениями друг друга между турами; вопросники от тура к туру могут уточняться;
- 3) в наиболее развитых методиках экспертам присваиваются весовые коэффициенты значимости их мнений, вычисляемые на основе предшествующих опросов, уточняемые от тура к туру и учитываемые при получении обобщенных результатов оценок.

К недостаткам метода Дельфи можно отнести значительный расход времени на проведение экспертизы, связанный с большим количеством последовательных повторений оценок и необходимость неоднократного пересмотра экспертом своих ответов, вызывающая у него отрицательную реакцию, что сказывается на результатах экспертизы.

### ***3.1.5. МЕТОДЫ ТИПА ДЕРЕВА ЦЕЛЕЙ***

Идея метода впервые была предложена Черчменом в связи с проблемами принятия решений в промышленности. Термин «дерево целей» подразумевает использование иерархической структуры, полученной путем разделения общей цели на подцели, а их, в свою очередь, на более детальные составляющие (новые подцели, функции и т.д.). Как правило, этот термин используется для структур, имеющих отношение строгого порядка, но метод дерева целей используется иногда и применительно к «слабым» иерархиям, в которых одна и та же вершина нижележащего уровня может быть одновременно подчинена двум или нескольким вершинам вышележащего уровня.

Разновидностью методов дерева целей и Дельфи является метод PATTERN (Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers – помощь планированию посредством относительных показателей технической оценки), разработанный для повышения эффективности процессов принятия решений в области долгосрочной научно-технической ориентации крупной промышленной фирмы.

Сущность метода PATTERN заключается в следующем. Исходя из сформулированных целей потребителей продукции фирмы на прогнозируемый период, осуществляется развертывание дерева целей. Для каждого уровня дерева целей вводится ряд критериев. С помощью экспертной оценки определяются веса критериев и коэффициенты значимости, характеризующие важность вклада целей в обеспечение критериев. Значимость некоторой цели определяется коэффициентом связи, представляющим сумму произведений всех критериев на соответствующие коэффициенты значимости. Общий коэффициент связи некоторой цели (относительно достижения цели высшего уровня) определяется путем перемножения соответствующих коэффициентов связи в направлении вершины дерева.

### ***3.1.6. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ***

Основная идея морфологических методов систематически находить все мыслимые варианты решения проблемы или реализации системы путем комбинирования выделенных элементов или их признаков. В систематизированном виде морфологический подход разработан и применен впервые швейцарским астрономом Ф. Цвикки и долгое время был известен как метод Цвикки.

Цвикки предложил три метода морфологического исследования:

1. Метод систематического покрытия поля (МСПП), основанный на выделении так называемых опорных пунктов знания в любой исследуемой области и использовании для заполнения поля некоторых сформулированных принципов мышления.
2. Метод отрицания и конструирования (МОК), заключающийся в том, что на пути конструктивного прогресса стоят догмы и компромиссные ограничения, которые есть смысл отрицать, и следовательно, сформулировав некоторые предложения, полезно заменить их затем на противоположные и использовать при проведении анализа.
3. Метод морфологического ящика (ММЯ), нашедший наиболее широкое распространение. Идея ММЯ состоит в том, чтобы определить все мыслимые параметры, от которых может зависеть решение проблемы, представить их в виде матриц-строк, а затем определить в этом морфологическом матрице-ящике все возможные сочетания параметров по одному из каждой строки. Полученные таким образом варианты могут снова подвергаться оценке и анализу в целях выбора наилучшего.

### ***3.1.7. ПРИМЕР КАЧЕСТВЕННОГО ОЦЕНИВАНИЯ СИСТЕМЫ***

#### **Постановка задачи**

Стоит проблема выбора объекта инвестирования. Предлагается четыре варианта (альтернативы):

1. Таганрогский завод «Прибой».
2. Таганрогский металлургический завод.
3. Таганрогский автомобильный завод.
4. Таганрогский завод «Красный котельщик».

Необходимо выбрать один объект инвестирования из четырёх предложенных альтернатив.

### Решение задачи

Эта задача является слабоструктурированной проблемой, решение которой возможно, применив один из качественных методов. Выбираем метод экспертных оценок, используя наиболее употребительную процедуру ранжирования (подразд. 3.1.3.).

Ранжирование – это процедура установления относительной значимости (предпочтительности) исследуемых объектов на основе их упорядочения.

Собрана группа экспертов в составе 4-х человек для выбора объекта инвестирования путем оценки важности. Мнение группы экспертов надежнее, чем мнение отдельного эксперта или отдельного лица, принимающего решение.

Пусть имеется  $m$  экспертов  $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_m$  и  $n$  проектов  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ , подлежащих оценке. Эксперты осуществляют попарное сравнение проектов, оценивая их важность в долях единицы. Результаты сведем в таблицу.

$\mathcal{E}_j$	$\Pi_1 \Leftrightarrow \Pi_2$		$\Pi_1 \Leftrightarrow \Pi_3$		$\Pi_1 \Leftrightarrow \Pi_4$		$\Pi_2 \Leftrightarrow \Pi_3$		$\Pi_2 \Leftrightarrow \Pi_4$		$\Pi_3 \Leftrightarrow \Pi_4$	
$\mathcal{E}_1$	0,4	0,6	0,65	0,35	0,6	0,4	0,7	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5
$\mathcal{E}_2$	0,3	0,7	0,55	0,45	0,7	0,3	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4
$\mathcal{E}_3$	0,4	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,4	0,5	0,5	0,7	0,3
$\mathcal{E}_4$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,3	0,7	0,3	0,6	0,4

Находим сумму по столбцам и результаты сводим в таблицу.

	$\Pi_1 \Leftrightarrow \Pi_2$		$\Pi_1 \Leftrightarrow \Pi_3$		$\Pi_1 \Leftrightarrow \Pi_4$		$\Pi_2 \Leftrightarrow \Pi_3$		$\Pi_2 \Leftrightarrow \Pi_4$		$\Pi_3 \Leftrightarrow \Pi_4$	
сумма	1,6	2,4	2,2	1,8	2,4	1,6	2,6	1,4	2,4	2,4	2,4	1,6

Находим оценки, характеризующие предпочтение одного из проектов над всеми прочими:  $f(\Pi_i) = \sum_i^n \Pi_i$

$$f(\Pi_1) = 1,6 + 2,2 + 2,4 = 6,2;$$

$$f(\Pi_2) = 2,4 + 2,6 + 2,4 = 7,4;$$

$$f(\Pi_3) = 1,8 + 1,4 + 2,4 = 5,6;$$

$$f(\Pi_4) = 1,6 + 2,4 + 1,6 = 5,6.$$

Получили искомые веса целей по правилу нормирования:

$$P_i = \frac{f(\Pi_i)}{\sum_{i=1}^n f(\Pi_i)};$$

$$P_1 = 6,2/24,8 = 0,25, \quad P_2 = 7,4/24,8 = 0,29,$$

$$P_3 = 5,6/24,8 = 0,23, \quad P_4 = 5,6/24,8 = 0,23.$$

Сумма искомых весов целей должна быть равна 1, в чем легко убедиться, сложив  $P_i$ .

**Вывод:** так как вторая альтернатива имеет наибольший вес цели (0,29), то более предпочтителен объект инвестирования – Таганрогский металлургический завод.

### 3.2. МЕТОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОЦЕНИВАНИЯ СИСТЕМ

Проблемы, которые выражаются в числах или в таких символах, которые, в конце концов, могут быть выражены в числовых оценках, являются **количественными**.

Исследуя количественные проблемы, мы замечаем их основные особенности. Первой из них является **точность**. С помощью методов статистики специалист может установить для данного отношения значение или диапазон значений.

Вторая особенность количественных проблем состоит в легкости манипуляций и может быть названа **управляемостью**.

Количественные проблемы отличаются также их **однозначностью**.

**Гибкость** также может быть названа характеристикой количественных проблем. Манипулируя числами, специалист может решать данную задачу.

Следующая характеристика чисел может быть названа **согласованностью**. Под согласованностью понимается ряд качеств: сравнимость, соединимость, однородность, отсутствие противоречий. Согласованность влечет за собой сравнимость. Согласованность покоится на отсутствии противоречий. **Противоречие** возникает из наблюдаемой или ненаблюдаемой логической несовместимости, которая приводит процедуры в конфликт с реальностью.



Первоначально задача количественного оценивания систем формулировалась в терминах критерия превосходства в следующей форме [8]:

$$K_i^{npev} \rightarrow \max(y_i), i = 1, \dots, n.$$

Однако поскольку большинство частных показателей качества связаны между собой так, что повышение качества системы по одному показателю ведет к понижению качества по другому, такая постановка была признана некорректной для большинства практически важных приложений. В самом деле, пусть система передачи информации оценивается по двум показателям: пропускной способности  $y_1$  и достоверности передачи данных  $y_2$ . Известно, что повышение достоверности передачи данных связано с использованием служебной информации (алгоритмы восстановления после сбоев, помехоустойчивое кодирование и т.д.), которая приводит к снижению пропускной способности системы передачи. Поэтому некорректно формулировать задачу одновременного повышения качества по обоим показателям.

Таким образом, наличие неоднородных связей между отдельными показателями сложных систем приводит к проблеме корректности критерия превосходства, к необходимости идти на компромисс и выбирать для каждой характеристики не оптимальное значение, а меньшее, но такое, при котором и другие показатели тоже будут иметь приемлемые значения.

В системном анализе есть три важные особенности.

**Во-первых**, считается, что не существует системы, наилучшей в независимом от ЛПР смысле. Всегда система может быть наилучшей лишь для данного ЛПР. Другое ЛПР в данных условиях может предпочесть альтернативную систему.

**Во-вторых**, считается, что не существует оптимальной системы для всех целей и воздействий внешней среды. Система может быть эффективной только для конкретной цели и в конкретных условиях. В других условиях и для других целей система может быть неэффективной. Например, конверсия танков в интересах сельского хозяйства показала, что эта техника по сравнению с тракторами неэффективна по показателям ресурсоемкости [8].



**В-третьих**, методы исследования операций (линейное, нелинейное, динамическое программирование и др.) не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к задачам оценивания сложных организационных систем, поскольку вид целевой функции или неизвестен, или не задан аналитически, или для нее отсутствуют средства решения.

Оценивание систем по критериям производится с помощью шкал [8].

### ***3.2.1. ОЦЕНКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РИСКА НА ОСНОВЕ ФУНКЦИИ ПОЛЕЗНОСТИ***

Операции, выполняемые в условиях риска, называются **вероятностными** [8]. Однозначность соответствия между системами и исходами в вероятностных операциях нарушается. Это означает, что каждой системе (альтернативе)  $a_i$  ставится в соответствие не один, а множество исходов  $\{y_k\}$  с известными условными вероятностями появления  $p(y_k/a_i)$ . Например, из-за ограниченной надежности сетевого оборудования время передачи сообщения может меняться случайным образом по известному закону. Очевидно, оценивать системы в операциях данного типа так, как в детерминированных операциях, нельзя.

Эффективность систем в вероятностных операциях находится через математическое ожидание функции полезности на множестве исходов  $K(a) = M_a[F(y)]$ .

При исходах  $y_k$  ( $k = 1, \dots, m$ ) с дискретными значениями показателей, каждый из которых появляется с условной вероятностью  $p(y_k/a_i)$  и имеет полезность  $F(y_k)$ , выражение для определения математического ожидания функции полезности записывается в виде

$$K(a_i) = \sum_{k=1}^m p(y_k/a_i) F(y_k), i = 1, \dots, n.$$

Из выражения, как частный случай, может быть получена оценка эффективности систем для детерминированных операций, если принять, что исход, соответствующий системе, наступает с вероятностью, равной единице, а вероятности остальных исходов равны нулю. Условия оценки систем в случае, когда показатели исхода вероятностной операции являются дискретными величинами, удобно задавать таблично.

При исходах с непрерывными значениями показателей математическое ожидание функции полезности определяется как

$$K(a_i) = \int_{R_n} f(y/a_i) F(y) dy,$$

где  $f(y/a_i)$  – плотность вероятностей исходов;

$R_n$  – допустимая область векторного пространства исходов.

Таким образом, для оценки эффективности систем в вероятностной операции необходимо:

- определить исходы операции по каждой системе;
- построить функцию полезности на множестве исходов операции;
- найти распределение вероятностей на множестве исходов операции;
- рассчитать математическое ожидание функции полезности на множестве исходов операции для каждой системы.

Критерий оптимальности для вероятностных операций имеет вид

$$K(a_i) = \max_{a_i} M_{a_i} [F(y)], \quad (i = 1, \dots, m).$$

В соответствии с этим критерием оптимальной системой в условиях риска считается система с максимальным значением математического ожидания функции полезности на множестве исходов операции.

Оценка систем в условиях вероятностной операции – это оценка «в среднем», поэтому ей присущи все недостатки такого подхода, главный из которых заключается в том, что не исключен случай выбора неоптимальной системы для конкретной реализации операции. Однако если операция будет многократно повторяться, то оптимальная в среднем система приведет к наибольшему успеху.

Сведение задачи оценки систем к вероятностной постановке применимо для операций, имеющих массовый характер, для которых имеется возможность определить объективные показатели исходов, вероятностные характеристики по параметрам обстановки и законы распределения вероятностей на множестве исходов операции.

Рассмотрим две задачи по оценке эффективности систем в вероятностных операциях по приведенному критерию.

## 1. Постановка задачи

Необходимо оценить 2 варианта конфигурации локальной вычислительной сети общего пользования. Исследуемая операция – обмен сообщениями между пользователями, система – варианты размещения сетевого оборудования, показатель исхода операции – число переданных сообщений  $y_k$  (дискретная величина). Числовые данные для оценки приведены в следующей таблице.

$a_i$	$y_k$	$p(y_k/a_i)$	$F(y_k)$	$K(a_i)$
Вариант 1	60	0,3	0,8	0,51
	40	0,5	0,5	
	20	0,2	0,1	
Вариант 2	60	0,25	0,8	0,515
	40	0,60	0,5	
	20	0,15	0,1	

## Решение задачи

Пользуясь формулами, приведенными выше, рассчитываем оценку эффективности для каждой альтернативы:

$$K(a_1) = 0,3 \cdot 0,8 + 0,5 \cdot 0,5 + 0,2 \cdot 0,1 = 0,51;$$

$$K(a_2) = 0,25 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 0,5 + 0,15 \cdot 0,1 = 0,515;$$

$$K_{\text{опт}} = \max K(a_i) = K(a_2) = 0,515.$$

**Вывод:** расчет показателей и оценка эффективности по критерию превосходства показывают, что в качестве оптимальной системы должен быть признан вариант 2 конфигурации сети.

## 2. Постановка задачи

Группа разработчиков должна наладить работу офиса и создать систему электронного документооборота. Существует 2 варианта решения проблемы. Можно разработать систему с нуля. Стоимость такой системы будет 120 у.е. Есть другой вариант – создать ее на основе существующей платформы. Стоимость этого варианта – 50 у.е.

Вероятность хорошего спроса системы – 65 %, слабого спроса – 35 %. При хорошем спросе на 1-й вариант доход будет составлять 200 у.е, при слабом – 90 у.е. При хорошем спросе на 2-й вариант доход будет состав-

лять 120 у.е., при слабом – 60 у.е. Необходимо оценить, у какой системы будет наибольший денежный выигрыш.

### Решение задачи

Для удобства сведем данные в следующую схему (рис. 3)

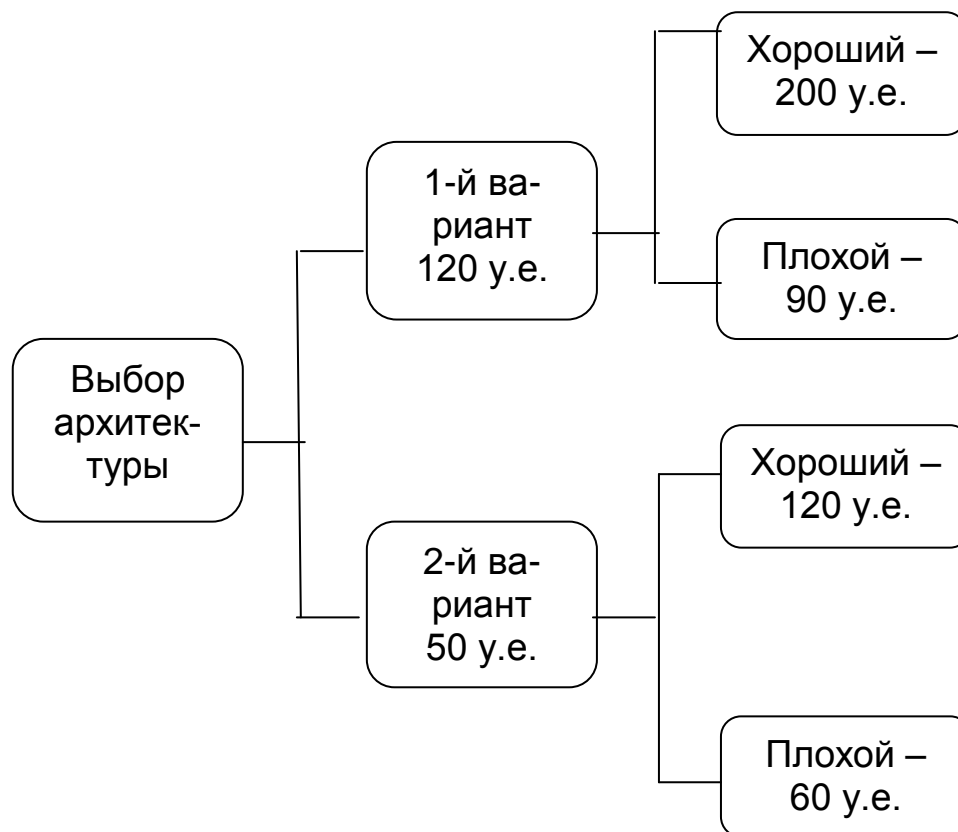


Рис. 3. Схема с данными задачи

Сведем в таблицу все данные задачи.

$a_i$	Спрос	$y_k$	$p(y_k/a_i)$	$F(y_k)$	$K(a_i)$
Вар. 1 120	Хороший	200	0,65	80	41,5
	Плохой	90	0,35	-30	
Вар. 2 50	Хороший	120	0,65	70	49
	Плохой	60	0,35	10	

Полезность в данной задаче рассчитывается наиболее простым способом, не прибегая к сложному алгоритму, описанному выше.

Полезность  $F(y_k)$  рассчитываем как разность между доходом и затратами на систему, т.е. рассчитываем прибыль.

$$K(a_1) = 0,65 \cdot 80 + 0,35 \cdot (-30) = 41,5;$$

$$K(a_2) = 0,65 \cdot 70 + 0,35 \cdot 10 = 49;$$

$$K_{\text{опт}} = \max K(a_i) = K(a_2) = 49.$$

**Вывод:** расчет показателей и оценка эффективности по критерию превосходства показывают, что при втором варианте будет наибольший денежный выигрыш.

### ***3.2.2. ОЦЕНКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ***

Специфические черты организационно-технических систем часто не позволяют свести операции, проводимые этими системами, к детерминированным или вероятностным. К таким чертам относятся:

1. Наличие в управляемой системе в качестве элементов (подсистем) целенаправленных индивидуумов и наличие в системе управления ЛПР, осуществляющих управление на основе субъективных моделей, что и приводит к большому разнообразию поведения системы в целом.
2. Алгоритм управления часто строит сама система управления, преследуя помимо предъявляемых старшей системой целей собственные цели, не всегда совпадающие с внешними.
3. На этапе оценки ситуации в ряде случаев исходят не из фактической ситуации, а из той модели, которой пользуется ЛПР при управлении объектом.
4. В процессе принятия решения большую роль играют логические рассуждения ЛПР, не поддающиеся формализации классическими методами математики.
5. При выборе управляющего воздействия ЛПР может оперировать нечеткими понятиями, отношениями и высказываниями.
6. В большом классе задач управления организационно-техническими системами отсутствуют объективные критерии оценивания достижения целевого и текущего состояний объекта управления, а также статистика, достаточная для построения соответствующих вероятностных распределений (законов распределения исходов операций) для конкретного принятого решения.

Условия оценки эффективности систем для неопределенных операций можно представить в виде таблицы, в которой обозначены:

$a_i$  – вектор управляемых параметров, определяющий свойства системы ( $i = 1, \dots, m$ );

$n_j$  – вектор неуправляемых параметров, определяющий состояние обстановки ( $j = 1, \dots, k$ );

$k_{ij}$  – значение эффективности системы  $a_i$  для состояния обстановки  $p_j$ ;

$K(a_i)$  – эффективность системы  $a_i$ .

Каждая строка таблицы содержит значения эффективности одной системы для всех состояний обстановки  $p_j$ , а каждый столбец – значения эффективности для всех систем  $a_i$  при одном и том же состоянии обстановки.

В неопределенной операции могут быть известны множество состояний обстановки и эффективность систем для каждой из них, но нет данных, с какой вероятностью может появиться то или иное состояние.

Если операция, проводимая системой, уникальна, то для разрешения неопределенности при оценке систем используются субъективные предпочтения ЛПР. По этой причине единого критерия оценки эффективности для неопределенных операций не существует. Разработаны лишь общие требования к критериям и процедурам оценки и выбора оптимальных систем. Основными требованиями являются:

- 1) оптимальное решение не должно меняться с перестановкой строк и столбцов матрицы эффективности;
- 2) оптимальное решение не должно меняться при добавлении тождественной строки или тождественного столбца к матрице эффективности;
- 3) оптимальное решение не должно меняться от добавления постоянного числа к значению каждого элемента матрицы эффективности;
- 4) оптимальное решение не должно становиться неоптимальным, а неоптимальное оптимальным в случае добавления новых систем, среди которых нет ни одной более эффективной системы;
- 5) если системы  $a_i$  и  $a_j$  оптимальны, то вероятностная смесь этих систем тоже должна быть оптимальна.

В зависимости от характера предпочтений ЛПР наиболее часто в неопределенных операциях используются критерии:

- среднего выигрыша;
- Лапласа;
- осторожного наблюдателя (Вальда);
- максимакса;
- пессимизма-оптимизма (Гурвица);
- минимального риска (Сэвиджа).



**Постановка задачи.** Необходимо оценить один из трех разрабатываемых программных продуктов  $a_i$  для борьбы с одним из четырех типов программных воздействий  $K_j$ . Матрица эффективности представлена в следующей таблице.

$a_i$	$k_j$			
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$a_1$	0,1	0,5	0,1	0,2
$a_2$	0,2	0,3	0,2	0,4
$a_3$	0,1	0,4	0,4	0,3

Здесь  $a_i$  –  $i$ -й программный продукт,  $i = \{1, 2, 3\}$ ;

$k_j$  – оценка эффективности применения  $i$ -го программного продукта при  $j$ -м программном воздействии  $\{j\} \in t = \{1, 2, 3, 4\}$ .

**Критерий среднего выигрыша.** Данный критерий предполагает задание вероятностей состояний обстановки  $p_i$ . Эффективность систем оценивается как среднее ожидаемое значение (математическое ожидание) оценок эффективности по всем состояниям обстановки:

$$K(a_i) = \sum_{j=1}^t p_j k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m.$$

Оптимальной системе будет соответствовать эффективность

$$K_{\text{опт}} = \max_i \sum_{j=1}^t k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m.$$

Если в данном примере задаться вероятностями применения противником программных воздействий  $p_1 = 0,4$ ,  $p_2 = 0,2$ ,  $p_3 = 0,1$  и  $p_4 = 0,3$ , то получим следующие оценки систем:

$$K(a_1) = 0,4 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,5 + 0,1 \cdot 0,1 + 0,3 \cdot 0,2 = 0,21;$$

$$K(a_2) = 0,4 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,3 + 0,1 \cdot 0,2 + 0,3 \cdot 0,4 = 0,28;$$

$$K(a_3) = 0,4 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,4 + 0,1 \cdot 0,4 + 0,3 \cdot 0,3 = 0,25.$$

Оптимальное решение – система  $a_2$ .

Для применения критерия среднего выигрыша необходим, по существу, перевод операции из неопределенной в вероятностную, причем произвольным образом.

**Критерий Лапласа.** В основе критерия лежит предположение: поскольку о состояниях обстановки ничего не известно, то их можно считать равновероятными. Исходя из этого

$$K(a_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^t k_{ij} \quad i = 1, \dots, m;$$

$$K_{onm} = \max_i \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^t k_{ij} \right), \quad i = 1, \dots, m.$$

Рассчитаем эффективность систем по данному критерию для приведенного примера:

$$K(a_1) = 0,25 (0,1 + 0,5 + 0,1 + 0,2) = 0,225;$$

$$K(a_2) = 0,25 (0,2 + 0,3 + 0,2 + 0,4) = 0,275;$$

$$K(a_3) = 0,25 (0,1 + 0,4 + 0,4 + 0,3) = 0,3.$$

Оптимальное решение – система **a<sub>3</sub>**. Критерий Лапласа представляет собой частный случай критерия среднего выигрыша.

**Критерий осторожного наблюдателя (Вальда).** Это **максиминный критерий**, он гарантирует определенный выигрыш при наихудших условиях. Критерий основывается на том, что если состояние обстановки неизвестно, нужно поступать самым осторожным образом, ориентируясь на минимальное значение эффективности каждой системы.

В каждой строке матрицы эффективности находится минимальная из оценок систем по различным состояниям обстановки:

$$K(a_i) = \min_j k_{ij}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, t.$$

Оптимальной считается система из строки с максимальным значением эффективности:

$$K_{onm} = \max_i \left( \min_j k_{ij} \right), \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, t.$$

Применение критерия максимина к нашему примеру дает следующие оценки:

$$K(a_1) = \min(0,1; 0,5; 0,1; 0,2) = 0,1;$$

$$K(a_2) = \min(0,2; 0,3; 0,2; 0,4) = 0,2;$$

$$K(a_3) = \min(0,1; 0,4; 0,4; 0,3) = 0,1.$$

Оптимальное решение – система **a<sub>2</sub>**.

Максиминный критерий ориентирует на решение, не содержащее элементов риска: при любом из возможных состояний обстановки выбранная система покажет результат операции не хуже найденного максимина. Такая осторожность является в ряде случаев недостатком критерия. Другой недостаток – он не удовлетворяет требованию 3 (добавление постоянного числа к каждому элементу столбца матрицы эффективности влияет на выбор системы).

**Критерий максима.** Этим критерием предписывается оценивать системы по максимальному значению эффективности и выбирать в качестве оптимального решения систему, обладающую эффективностью с наибольшим из максимумов:

$$k(a_i) = \max_j k_{ij},$$
$$K_{\text{опт}} = \max_i \left( \max_j k_{ij} \right).$$

Оценки систем на основе максимадного критерия в нашем примере принимают такие значения:

$$K(a_1) = \max(0,1; 0,5; 0,1; 0,2) = 0,5;$$

$$K(a_2) = \max(0,2; 0,3; 0,2; 0,4) = 0,4;$$

$$K(a_3) = \max(0,1; 0,4; 0,4; 0,3) = 0,4.$$

Оптимальное решение – система **a<sub>1</sub>**. Критерий максима – самый оптимистический критерий. Те, кто предпочитает им пользоваться, всегда надеются на лучшее состояние обстановки и, естественно, рискуют.

**Критерий пессимизма-оптимизма (Гурвица).** Это критерий обобщенного максимина. Согласно данному критерию при оценке и выборе систем неразумно проявлять как осторожность, так и азарт, а следует, учитывая самое высокое и самое низкое значения эффективности, занимать промежуточную позицию (взвешиваются наихудшие и наилучшие условия). Для этого вводится коэффициент оптимизма  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ), ха-

рактикующий отношение к риску лица, принимающего решение. Эффективность систем находится как взвешенная с помощью коэффициента  $\alpha$  сумма максимальной и минимальной оценок:

$$K(a_i) = \alpha \max_j k_{ij} + (1 - \alpha) \min_j k_{ij}.$$

Условие оптимальности записывается в виде

$$K_{\text{опт}} = \max_i [\alpha \max_j k_{ij} + (1 - \alpha) \min_j k_{ij}], \quad 0 \leq \alpha \leq 1.$$

Зададимся значением  $\alpha = 0,6$  и рассчитаем эффективность систем для рассматриваемого примера:

$$K(a_1) = 0,6 \cdot 0,5 + (1 - 0,6) \cdot 0,1 = 0,34;$$

$$K(a_2) = 0,6 \cdot 0,4 + (1 - 0,6) \cdot 0,2 = 0,32;$$

$$K(a_3) = 0,6 \cdot 0,4 + (1 - 0,6) \cdot 0,1 = 0,28.$$

Оптимальной системой будет  $a_1$ .

При  $\alpha = 0$  критерий Гурвица сводится к критерию максимина,

при  $\alpha = 1$  – к критерию максимакса. Значение  $\alpha$  может определяться методом экспертных оценок. Очевидно, что чем опаснее оцениваемая ситуация, тем ближе величина  $\alpha$  должна быть к единице, когда гарантируется наибольший из минимальных выигрышей или наименьший из максимальных рисков.

На практике пользуются значениями коэффициента  $\alpha$  в пределах 0,3–0,7. В критерии Гурвица не выполняются требования 4 и 5.

**Критерий минимального риска (Сэвиджа).** Минимизирует потери эффективности при наихудших условиях. Для оценки систем на основе данного критерия матрица эффективности должна быть преобразована в матрицу потерь (риска). Каждый элемент матрицы потерь определяется как разность между максимальным и текущим значениями оценок эффективности в столбце:

$$\Delta k_{ij} = \max_k k_{ik} - k_{ij}.$$

После преобразования матрицы используется критерий минимакса:

$$K(a_i) = \max_j \Delta k_{ij};$$

$$K_{\text{опт}} = \min_i (\max_j \Delta k_{ij}).$$

Далее заполним матрицу потерь.

$a_i$	$k_j$			
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$a_1$	0,1	0	0,3	0,2
$a_2$	0	0,2	0,2	0
$a_3$	0,1	0,1	0	0,1

Оценим эффективность систем в соответствии с данными.

$$K(a_1) = \max(0,1; 0; 0,3; 0,2) = 0,3;$$

$$K(a_2) = \max(0; 0,2; 0,2; 0) = 0,2;$$

$$K(a_3) = \max(0,1; 0,1; 0; 0,1) = 0,1.$$

Оптимальное решение – система  $a_3$ . О критерии Сэвиджа можно сказать, что он, как и критерий Вальда, относится к числу осторожных критериев. По сравнению с критерием Вальда в нем придается несколько большее значение выигрышу, чем проигрышу. Основным недостатком критерия – не выполняется требование 4.

Таким образом, эффективность систем в неопределенных операциях может оцениваться по целому ряду критериев. На выбор того или иного критерия оказывает влияние ряд факторов:

- природа конкретной операции и ее цель (в одних операциях допустим риск, в других – нужен гарантированный результат);
- причины неопределенности (одно дело, когда неопределенность является случайным результатом действия объективных законов природы, и другое, когда она вызывается действиями разумного противника, стремящегося помешать в достижении цели);
- характер лица, принимающего решение (одни люди склонны к риску в надежде добиться большего успеха, другие предпочитают действовать всегда осторожно).

Выбор какого-то одного критерия приводит к принятию решения по оценке систем, которое может быть отличным от решений, диктуемых другими критериями. Это наглядно подтверждают результаты оценки эффективности систем применительно к нашему примеру, результаты которого сведем в следующую таблицу.

	$k_i$				$K(a_i)$ по критериям					
$a_i$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	Сред- него выиг- рыша	Лап- ласа	Валь- да	мак- си- мак- са	Гур- вица	Сэвид- жа
$a_1$	0,1	0,5	0,1	0,2	0,21	0,225	0,1	0,5	0,34	0,3
$a_2$	0,2	0,3	0,2	0,4	0,28	0,275	0,2	0,4	0,32	0,2
$a_3$	0,1	0,4	0,4	0,3	0,25	0,300	0,1	0,4	0,28	0,1

Тип критерия для выбора рационального варианта должен быть оговорен на этапе анализа систем и согласован с заказывающей организацией. Процесс выбора вида критерия для учета неопределенности достаточно сложен. Устойчивость выбранного рационального варианта можно оценить на основе анализа по нескольким критериям. Если существует совпадение, то имеется большая уверенность в правильности выбора варианта решения.

В случаях, когда системы, выбранные по различным критериям, конкурируют между собой за право быть окончательно выбранными, могут применяться процедуры, основанные на мажоритарной обработке результатов оценки по простому большинству голосов, хотя в этом случае есть опасность выбора системы, не являющейся лучшей.

В любом случае при выделении множества предпочтительных систем по разным критериям окончательный выбор системы должен осуществляться ЛПР.



## 4. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Системный анализ характеризуется главным образом не специфическим научным аппаратом, а упорядоченным логически обоснованным подходом к исследованию проблемы и использованию соответствующих методов их решения.

(Ю.И. Черняк, профессор)

Подход, основанный на теории многокритериальной полезности, требует достаточно много усилий при практическом применении. Как реакцию на сложность методов, основанных на МАУТ, можно оценить появление ряда эвристических методов, не имеющих строго математического обоснования, но использующих простые процедуры получения информации и ее агрегации в общую оценку альтернативы. Одним из наиболее известных методов такого типа является метод SMART, предложенный В. Эдвардсом и метод анализа иерархий или подход аналитической иерархии (Analytic Hierarchy Process – AHP), который широко известен в настоящее время.

### 4.1. МЕТОД SMART

Существуют эвристические методы, не имеющие строгого математического обоснования, но использующие простые процедуры получения информации и её агрегации в общую оценку альтернативы.

Одним из наиболее известных методов такого типа является метод SMART, предложенный В. Эдвардсом. Метод можно представить как совокупность следующих этапов:

1. Упорядочить критерии по важности.
2. Присвоить наиболее важному критерию оценку 100 баллов. Исходя из попарного отношения критериев по важности, дать в баллах оценку каждому из критериев.
3. Сложить полученные баллы. Произвести нормировку весов критериев, разделив присвоенные баллы на сумму весов.

4. Измерить значение каждой альтернативы по каждому из критериев по шкале от 0 до 100 баллов.
5. Определить общую оценку каждой альтернативы, используя формулу взвешенной суммы баллов.
6. Выбрать как лучшую альтернативу, имеющую наибольшую общую оценку.
7. Оценить чувствительности результата к изменениям весов.

Метод SMART не учитывает возможную зависимость измерений и неаддитивность при определении общей ценности альтернативы.

Однако метод прост и надёжен при практических применениях, что более существенно. Проверка чувствительности к изменениям весов позволяет учесть влияние неточностей при измерениях и возможной зависимости между критериями.

### **Постановка задачи**

Необходимо выбрать коммуникатор из пяти предложенных альтернатив с помощью метода SMART:

Toshiba G900, Asus P535, RoverPC X7, HTC Hero, Glofiish X650

### **Решение задачи**

1. Выберем критерии, по которым будем сравнивать коммуникаторы и упорядочим их по важности:
  - а) частота процессора, МГц;
  - б) память (RAM), Мб;
  - в) разрешение экрана;
  - г) размеры, мм;
  - д) вес, г;
  - е) время разговора, ч.;
  - ж) стоимость, руб.
2. Присвоим наиболее важному критерию оценку 100 баллов. Исходя из попарного отношения критериев по важности, дадим в баллах оценку каждому из критериев и сведём результаты в таблицу.

Критерии	Баллы $A_i$
Частота процессора	100
Память	75
Разрешение экрана	75
Размер	60
Вес	55
Время разговора	50
Стоимость	40

3. Сложим полученные баллы, получив сумму весов. Произведём нормировку весов критериев, разделив присвоенные баллы на сумму весов:

$$W_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i},$$

где  $A_i$  – баллы критерия,

$n$  – количество критериев.

Для первого критерия  $W_1 = 100/455 = 0,21978022$ . Аналогично рассчитываем нормированные веса для остальных критериев.

Приведем результаты нормировки.

Критерии	Баллы	Нормировка весов $W_i$
Частота процессора	100	0,21978022
Память	75	0,16483516
Разрешение экрана	75	0,16483516
Размер	60	0,13186813
Вес	55	0,12087912
Время разговора	50	0,10989011
Стоимость	40	0,08791208
Сумма баллов	455	

4. Назначить значение каждой альтернативы по каждому из критериев по шкале от 0 до 100 баллов.

5. Определить оценку каждой альтернативы, используя формулу взвешенной суммы баллов:

$$O_i = \sum_{i=1}^n W_i \cdot B_i,$$

где  $B_i$  – оценка альтернативы по каждому критерию,  
 $W_i$  – нормировка весов.

Альтернативы	Критерии $B_i$							
	Частота процессора	Память	Разрешение экрана	Размер	Вес	Время разговора	Стоимость	Оценка альтернативы $O_i$
HTC hero	84	100	40	61	68	100	1	68,879120
Glofish	80	22	80	58	69	87	87	67,593406
Toshiba G900	83	44	100	100	100	55	100	82,0879
Asus P535	83	22	30	78	73	62	48	56,956043
Rover Psx7	100	44	30	87	67	50	79	66,186813

Выбрать лучшую альтернативу, имеющую наибольшую общую оценку.

**Вывод:** лучшей альтернативой является коммуникатор модели Toshiba G900 – оценка альтернативы 82,0879.

## 4.2. МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Для решения разнообразных проблем выбора альтернатив широко применяется **метод анализа иерархий (МАИ)**, разработанный американским ученым Томасом Саати. Не следует думать, что его выдающаяся популярность объясняется какими-либо важными преимуществами этого метода по сравнению с другими. Здесь мы сталкиваемся с известным психологическим феноменом: продукт, появившийся первым и удачно удовлетворяющий определенную потребность, захватывает рынок. Более поздние продукты, зачастую более совершенные, часто оказываются неспособны вытеснить удачливого первенца. В основе метода лежит сравнение только заданных альтернатив. Это применимо в случае их небольшого числа.

Подход состоит из совокупности этапов.

1. Первый этап заключается в структуризации задачи в виде иерархической структуры с несколькими уровнями: **цели – критерии – альтернативы**.
2. На втором этапе ЛПР выполняет попарные сравнения элементов каждого уровня. Результаты сравнений переводятся в числа при помощи специальной таблицы.
3. Вычисляются коэффициенты важности для элементов каждого уровня. При этом проверяется согласованность суждений ЛПР.
4. Вычисляется количественный индикатор качества каждой из альтернатив и определяется наилучшая альтернатива.

Первым этапом применения МАИ является структурирование проблемы выбора в виде иерархии или сети. В наиболее элементарном виде иерархия строится с вершины (цели), через промежуточные уровни-критерии (техничко-экономические параметры) к самому нижнему уровню, который в общем случае является набором альтернатив.

После иерархического воспроизведения проблемы устанавливаются приоритеты критериев и оценивается каждая из альтернатив по критериям. В МАИ элементы задачи сравниваются попарно по отношению к их воздействию на общую для них характеристику. Система парных сведений приводит к результату, который может быть представлен в виде обратно симметричной матрицы. Элементом матрицы  $a(i,j)$  является интенсивность проявления элемента иерархии  $i$  относительно элемента иерархии  $j$ , оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 9, предложенной автором метода, где оценки имеют следующий смысл:

1 – равная важность
3 – умеренное превосходство одного над другим
5 – существенное превосходство одного над другим
7 – значительное превосходство одного над другим
9 – очень сильное превосходство одного над другим
2, 4, 6, 8 – соответствующие промежуточные значения

Если при сравнении одного фактора  $i$  с другим  $j$  получено  $a(i,j) = b$ , то при сравнении второго фактора с первым получаем  $a(j,i) = 1/b$ .

Опыт показал, что при проведении попарных сравнений в основном ставятся следующие вопросы. При сравнении элементов А и Б:

- какой из них важнее или имеет большее воздействие?
- какой из них более вероятен?
- какой из них предпочтительнее?

Разберём на примере этот метод. Все необходимые для расчетов формулы будут приводиться по мере необходимости. Расчеты рекомендуется производить с помощью программ Excel, MatLab или же, при желании, на обычном калькуляторе.

### Постановка задачи

Необходимо осуществить выбор коммуникаторов из пяти предложенных альтернатив с помощью метода анализа иерархий:

Toshiba G900, Asus P535, RoverPC X7, HTC Hero, Glofiish X650

Критерии, по которым будем сравнивать коммуникаторы, остаются прежними (см. задачу, решаемую по методу SMART).

Сведем все показания в таблицу.

Критерии Альтер- нативы	Частота процессора	Память	Разрешение экрана	Размеры	Вес	Время разговора	Стоимость
Toshiba G900	520	128	800*480	119*61*21	196	4,4	11500
Asus P535	520	64	240*320	109*59*19	145	5	17500
RoverPC X7	624	128	240*320	121*66*17	132	4	14000
HTC Hero	528	288	320*480	112*57*15	135	8	23000
Glofiish X650	500	64	640*480	107*58*14	136	7	13000



Составим таблицу (единичную матрицу), в которой попарно сравним критерии, используя шкалу. Далее находим оценку компонент собственного вектора для каждого критерия:

$$(1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 4 \cdot \frac{1}{3})^{\frac{1}{7}} = 2,479.$$

Находим сумму оценок, в нашем случае 10,65249.

Определяем нормализованную оценку вектора приоритета.

$$2,47939/10,652 = 0,23275.$$

Все расчетные данные сведем в следующую таблицу (помните, что расчеты можно производить в редакторе Excel).

Критерии	Частота процессора	Память	Разрешение экрана	Размеры	Вес	Время разговора	Стоимость	Оценка компонент собственного вектора	Нормализованные оценки вектора приоритета
Частота процессора	<b>1</b>	2	3	8	9	4	1/3	2,47939	0,23275
Память	1/2	<b>1</b>	5	7	8	2	1/3	1,91176	0,17946
Разрешение экрана	1/3	1/5	<b>1</b>	8	5	1/2	1/5	0,82793	0,07772
Размеры	1/8	1/7	1/8	<b>1</b>	2	1/5	1/8	0,27251	0,02558
Вес	1/9	1/8	1/5	1/2	<b>1</b>	1/5	1/9	0,22679	0,02129
Время разговора	1/4	1/2	2	5	5	<b>1</b>	1/4	1,06583	0,10005
Стоимость	3	3	5	8	9	4	<b>1</b>	3,86825	0,36313
						Сумма		<b>10,65249</b>	
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$	$\lambda_{\max}$	
	1,24	1,25	1,27	1	0,8	1,19	0,85	7,592096	

Далее необходимо рассчитать индекс согласованности (ИС), который дает информацию о степени нарушения согласованности:

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

Вместе с матрицей парных сравнений мы имеем меру оценки степени отклонения от согласованности. Если такие отклонения превышают установленные пределы, то тому, кто проводит суждения, следует пересмотреть оценки в матрице. Для наших матриц всегда  $\lambda_{\max} > n$ .

$$\lambda_1 = (1 + 1/2 + 1/3 + 1/8 + 1/9 + 1/4 + 3) \cdot 0,23275 = 1,24$$

$$\lambda_{\max} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + \lambda_7 = 1,24 + 1,25 + 1,27 + 1 + 0,8 + 1,19 + 0,85 = 7,592096$$

$$ИС = (7,592096 - 7)/(7 - 1) = 0,0986$$

Теперь сравним эту величину с той, которая получилась бы при случайном выборе количественных суждений из нашей шкалы, и образовании обратно симметричной матрицы. Ниже даны средние согласованности для случайных матриц разного порядка.

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Если разделить ИС на число, соответствующее случайной согласованности матрицы того же порядка, получим **отношение согласованности (ОС)**. Величина ОС должна быть порядка 10 % или менее, чтобы быть приемлемой. В некоторых случаях допускается ОС до 20 %, но не более, иначе надо проверить свои суждения. Для нашей таблицы:

$$ОС = 0,0986/1,32 = 0,0747, \text{ т.е. } 7 \%$$

ОС не превышает 10 %, поэтому суждения пересматривать не будем.

**Вывод:** нормализованная оценка вектора приоритета для критерия «Стоимость» равна 0,36313, что больше всех остальных оценок. Можно сделать вывод, что для нас самым приоритетным критерием является «Стоимость».

Далее необходимо сравнить альтернативы по каждому из критериев. Составляем таблицы, в которых попарно сравниваем альтернативы, используя шкалу (аналогично тому, как мы сравнивали критерии).

## Сравниваем альтернативы по критерию – частота процессора

Альтернативы	Toshiba G900	Asus P535	RoverPC X7	HTC Hero	Glofiish X650	Оценка компонент собственного вектора	Нормализованные оценки вектора приоритета
Toshiba G900	1	1	1/7	1/4	3	0,63972	0,08319
Asus P535	1	1	1/7	4	3	1,11382	0,14485
RoverPC X7	7	7	1	6	8	4,72375	0,61434
HTC Hero	4	1/4	1/6	1	3	0,87055	0,11321
Glofiish X650	1/3	1/3	1/8	1/3	1	0,34127	0,04438

ИС	0,144235745	
ОС	13 %	Должно быть < 10 %, допускается < 20 %

## Сравниваем альтернативы по критерию – память

Альтернативы	Toshiba G900	Asus P535	RoverPC X7	HTC Hero	Glofiish X650	Оценка компонент собственного вектора	Нормализованные оценки вектора приоритета
Toshiba G900	1	5	1	1/5	5	1,37973	0,17201
Asus P535	1/5	1	1/5	1/9	1	0,33850	0,04220
RoverPC X7	1	5	1	1/5	5	1,37973	0,17201
HTC Hero	5	9	5	1	9	4,58442	0,57156
Glofiish X650	1/5	1	1/5	1/9	1	0,33850	0,04220

ИС	0,0613912	
ОС	5 %	Должно быть < 10 %, допускается < 20 %

## Сравниваем альтернативы по критерию – разрешение экрана

Альтернативы	Toshiba G900	Asus P535	RoverPC X7	HTC Hero	Glofiish X650	Оценка компонент соб- ственного вектора	Нормализован- ные оценки вектора приоритета
Toshiba G900	1	9	9	7	5	4,90355	0,58942
Asus P535	1/9	1	1	1/3	1/5	0,37491	0,04506
RoverPC X7	1/9	1	1	1/3	1/5	0,37491	0,04506
HTC Hero	1/7	3	3	1	1/5	0,76214	0,09161
Glofiish X650	1/5	5	5	5	1	1,90365	0,22882

ИС	0,099330368	
ОС	9 %	Должно быть < 10 %, допускается < 20 %

## Сравниваем альтернативы по критерию – размеры

Альтернативы	Toshiba G900	Asus P535	RoverPC X7	HTC Hero	Glofiish X650	Оценка компонент соб- ственного вектора	Нормализован- ные оценки вектора приоритета
Toshiba G900	1	1/3	1/2	1/7	1/9	0,30514	0,03725
Asus P535	3	1	1/5	1/5	1/7	0,44342	0,05413
RoverPC X7	2	5	1	1/8	1/9	0,67380	0,08225
HTC Hero	7	5	8	1	1/2	2,68673	0,32798
Glofiish X650	9	7	9	2	1	4,08246	0,49837

ИС	0,104257477	
ОС	9 %	Должно быть < 10 %, допускается < 20 %

## Сравниваем альтернативы по критерию – **вес**

Альтернативы	Toshiba G900	Asus P535	RoverPC X7	HTC Hero	Glofiish X650	Оценка компонент собственного вектора	Нормализованные оценки вектора приоритета
Toshiba G900	1	1/5	1/9	1/8	1/8	0,20329	0,02799
Asus P535	5	1	1/6	1/5	1/4	0,52961	0,07294
RoverPC X7	9	6	1	1/3	1/3	1,43096	0,19708
HTC Hero	8	5	3	1	1	2,60517	0,35881
Glofiish X650	8	4	3	1	1	2,49146	0,34315

ИС	0,091820296	
ОС	8 %	Должно быть < 10 %, допускается < 20 %

## Сравниваем альтернативы по критерию – **время разговора**

Альтернативы	Toshiba G900	Asus P535	RoverPC X7	HTC Hero	Glofiish X650	Оценка компонент собственного вектора	Нормализованные оценки вектора приоритета
Toshiba G900	1	1/2	2	1/9	1/8	0,42514	0,05012
Asus P535	2	1	2	1/8	1/7	0,58989	0,06954
RoverPC X7	1/2	1/2	1	1/9	1/8	0,32219	0,03798
HTC Hero	9	8	9	1	2	4,19296	0,49435
Glofiish X650	8	7	8	1/2	1	2,95154	0,34798

ИС	0,034861378	
ОС	3 %	Должно быть < 10 %, допускается < 20 %

## Сравниваем альтернативы по критерию – стоимость

Альтернативы	Toshiba G900	Asus P535	RoverPC X7	HTC Hero	Glofiish X650	Оценка компонент собственного вектора	Нормализован- ные оценки вектора приоритета
Toshiba G900	1	7	3	9	2	3,27716	0,43746
Asus P535	1/7	1	1/5	5	1/5	0,49111	0,06555
RoverPC X7	1/3	5	1	7	1/2	1,42292	0,18994
HTC Hero	1/9	1/5	1/7	1	1/8	0,20879	0,02787
Glofiish X650	1/2	5	2	8	1	2,09127	0,27916

ИС	0,053755172	
ОС	5 %	Должно быть < 10 %, допускается < 20 %

Заполним итоговую таблицу следующим способом. Смотрим ранее заполненные таблицы. В самую верхнюю строку переносим из таблицы сравнения критериев значения вектора приоритета для каждого критерия.

Для каждой из альтернатив заполняем столбцы критериев значениями локальных векторов приоритета, полученных соответственно в ранее заполненных таблицах.

Подсчитываем значения глобального приоритета для каждой из альтернатив как сумму произведений значения вектора приоритета для критерия и значения вектора локального приоритета этой альтернативы в отношении данного критерия, т.е. для **Toshiba G900** это будет:  $0,232 \cdot 0,0831 + 0,179 \cdot 0,172 + 0,077 \cdot 0,589 + 0,025 \cdot 0,037 + 0,021 \cdot 0,027 + 0,1 \cdot 0,05 + 0,363 \cdot 0,437 = 0,2608$ .



Окончательные результаты приведены в таблице.

Модель коммуникатора	Критерии							Глобальные приоритеты
	Частота процессора	Память	Разрешение экрана	Размеры	Вес	Время разговора	Стоимость	
	Численное значение вектора приоритета							
	0,2327	0,1794	0,0777	0,0255	0,021	0,1000	0,3631	
Toshiba	0,0831	0,1720	0,5894	0,0372	0,0279	0,0501	0,4374	0,2608
Asus P535	0,1448	0,0422	0,0450	0,0541	0,0729	0,0695	0,0655	0,0769
RoverPC X7	0,6143	0,1720	0,0450	0,0822	0,1970	0,0379	0,1899	0,2522
HTC Hero	0,1132	0,5715	0,0916	0,3279	0,3588	0,4943	0,0278	0,2040
Glofiish X650	0,0443	0,0422	0,2288	0,4983	0,3431	0,3479	0,2791	0,1846

**Вывод:** сравним глобальные приоритеты моделей. У модели Toshiba G900 – 0,2608, что больше остальных значений. Поэтому лучшей альтернативой является Toshiba G900.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В системном анализе находят органичное объединение теория и практика, наука и искусство, творческий подход и алгоритмичность действий, формализация и эвристика. В конкретном исследовании соотношение между этими компонентами может быть самым различным. Системный аналитик должен быть готов привлечь к разрешению проблемной ситуации любые необходимые знания и методы [5]. Современный специалист сталкивается с проблемой получения оптимального варианта объекта своей профессиональной деятельности. Он должен владеть инструментами выбора лучшей альтернативы. Последнее обстоятельство особенно актуально для подготовки специалистов по автоматизированной обработке информации и управления.

Целью данного учебно-методического пособия является приобретение студентами необходимых практических навыков на основе теоретических знаний, получаемых на лекционных занятиях. В рамках данного курса студенты должны познакомиться с основными понятиями и определениями, привести пример системы и доказать её системность, с подходами количественной и качественной оценки систем, с методами выбора альтернатив SMART и МАИ.

В данном учебно-методическом пособии приведены примеры выполнения заданий практикума по дисциплине «Системный анализ». Тематика и широта рассмотренных примеров соответствуют современному взгляду авторов на преподавание данной дисциплины и, возможно, не отражают всей существующей полноты, за что заранее приносится извинение.

С практической стороны системный анализ представляет собой теорию и практику улучшающего вмешательства в проблемную ситуацию. Поэтому системный подход и методология очень актуальны в области проектирования, разработки и создания информационных систем автоматизированной обработки информации и управления.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981.
2. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989.
3. Дегтярев Ю.И. Системный анализ и исследование операций. – М.: Высшая школа, 1996.
4. Антонов А.В. Проектирование систем. – Обнинск: ИАТЭ, 1996.
5. Антонов А.В. Системный анализ. – М.: Высшая школа, 2004.
6. Ожегов С.И. Словарь русского языка. – М.: Госиздат иностранных и национальных словарей, 1963.
7. Толковый словарь русского языка.
8. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении: Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2005.
9. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах: Учебник. – М.: Логос, 2003.
10. Bertalanffy L. An Outline of General System Theory – British J. For Phil. of Sci. 1950.
11. Саати Т. Математические методы исследования операций. – М.: МО, 1963.
12. Исследование операций. Методологические основы и математические методы: Пер с англ. / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981.
13. Исследование операций. Модели и применения: Пер с англ. / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981.
14. Острейковский В.А. Теория систем. – М.: Высшая школа, 1997.
15. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997.

**Норкин Олег Рауфатович**  
**Парфёнова Светлана Саркисовна**

Учебно-методическое пособие  
для практических занятий по дисциплине

## **СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ**

Ответственный за выпуск	Парфёнова С.С.
Редактор	Надточий З.И.
Корректор	Чиканенко Л.В.

ЛР № 020565 от 23 июня 1997 г.

Формат 60×84 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> .	Подписано к печати
Бумага офсетная.	Печать офсетная.
Усл.п.л. – 4,0	Уч.изд.л. – 3,9.
Заказ №	Тираж 100экз.
	«С»

---

Издательство Технологического института  
Южного федерального университета  
ГСП17А, Таганрог, 28, Некрасовский пер., 44  
Типография Технологического института  
Южного федерального университета  
ГСП17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1