

**681.51 (075)**

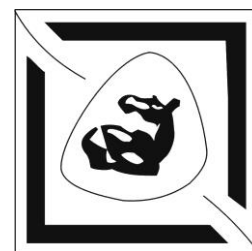
**У - 912**

**№ 6020**



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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



КАФЕДРА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

**Учебно-методическое пособие  
по дисциплине**

**ПРИКЛАДНОЙ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ**

**И К Т И Б**

Таганрог 2022

**УДК 681.51 (075.8)**

**ББК 34.9я73**

**У – 912** Норкин О.Р., Парфенова С.С. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Прикладной системный анализ». – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2022. –80 с.

Учебно-методическое пособие предназначено оказывать помощь бакалавриантам и магистрантам в изучении дисциплин «Бизнес-аналитика», «Прикладной системный анализ» и «Системный анализ». Пособие включает в себя основные понятия теории систем, системного анализа, особенности прикладного системного анализа, которые необходимы для выполнения практикума этих дисциплин, и разбор этих понятий на примерах. Показаны роль и значение этих понятий для системных исследований предметной области, проблемы и решения проблемы в виде мотивированного выбора компонентов проектируемых систем или шагов решения проблемы вообще и информационных систем в частности.

Учебно-методическое пособие входит в УМК соответствующих дисциплин и может быть использовано для всех форм и технологий обучения направления «Информатика и вычислительная техника» всех профилей.

Это не исключает того, что данное пособие будет также полезно всем, кто интересуется системным подходом и его применениями в самых разных областях целенаправленной человеческой деятельности для обоснованного выбора оптимального варианта управленческого решения, реализация которого решит возникшую проблему.

Табл. 20. Ил. 2. Библиогр.: 23 назв.

Рецензент **Ховансков С.А.**, канд. техн. наук, доцент кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета.

© ЮФУ, 2022

© О.Р. Норкин,  
С.С. Парфенова, 2022

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Системное мышление. Системность. Системный анализ. Прикладной системный анализ.....	6
1.1. Системность – общее свойство материи .....	6
1.2. Понятие системного анализа. Проблемная ситуация и проблема.....	10
1.3. Понятие сложной системы. Прикладной системный анализ.....	13
1.4. Основные понятия системного анализа. Суть и задачи системного анализа.....	16
1.5. Классификация систем .....	19
1.6. Пример исследования системы.....	24
2. Метод, альтернативы, критерии, риски.....	28
3. Основы оценки сложных систем .....	31
3.1. Методы качественного оценивания систем .....	31
3.1.1. "Мозговая атака" или "коллективная генерация идей" .....	32
3.1.2. Методы типа сценариев .....	33
3.1.3. Методы экспертных оценок .....	34
3.1.4. Методы типа Дельфи .....	36
3.1.5. Методы типа дерева целей.....	37
3.1.6. Морфологические методы .....	38
3.1.7. Пример качественного оценивания системы .....	39
3.2. Методы количественного оценивания систем.....	41
3.2.1. Оценка сложных систем в условиях риска на основе функции полезности .....	43
3.2.2. Оценка сложных систем в условиях неопределённости .....	46
4. Количественные методы принятия решений (выбора альтернатив).....	55
4.1. Метод SMART .....	55
4.2. Метод анализа иерархий .....	58
Заключение .....	70
Приложение 1. Варианты заданий.....	71
Приложение 2. Контрольные вопросы.....	74
Библиографический список .....	76

## 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 компьютерной техникой и компьютерными технологиями.

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

Основными задачами системного анализа являются определение всего набора альтернатив решения проблемы и их сравнение с точки зрения затрат и эффективности при достижении определённой 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. Системное мышление. Системность.**

## **Системный анализ. Прикладной системный анализ**

### **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. Учёные, 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]. Причём 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 её частей,
- подчинённость организации всей системы определённой цели,
- алгоритмичность.

По отношению к человеческой деятельности эти признаки очевидны. Всякое осознанное действие преследует определённую 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 определённой последовательности. Это и есть та самая определённая, подчинённая цели взаимосвязанность составных частей, которая и является признаком системности. Явная алгоритмизация любой практической деятельности является важным средством её развития.

Системными являются также результаты практической деятельности. Следует отметить, что роль системных представлений в практике постоянно увеличивается, что растёт 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 ещё 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 её анализу. Неудачи в решении тех или иных проблем связаны с отходом от системности, с игнорированием части существенных взаимосвязей компонентов системы. Разрешение возникшей проблемы осуществляется путём 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 всё более сложных объектов. Причём 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. Причём следует отметить, что уровень системности человеческого общества постоянно увеличивается. Системность необходимо, таким образом, рассматривать в историческом аспекте. В древнем мире племена жили отдалённо 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 учёта всех особенностей и возможных воздействий факторов внешней среды на её 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 количестве привело к непоправимым последствиям в развитии региона Аральского моря. Таким образом, можно сделать вывод, что **игнорирование**

**или нарушение системности взаимодействия человека со средой приводит к возникновению проблемы** в развитии среды обитания и соответственно во взаимодействии природы и общества.

В процессе освоения теории и практики системного анализа, применения изучаемых методов к решению задач развивается **системное мышление**.

Системное мышление – это значит **видеть системно**, видеть при решении любой проблемы ситуацию в целом, понимать все аспекты и нюансы. В системном мышлении пока чаще превалирует интуиция.

Каждый человек обладает системностью мышления, но не каждый им пользуется. Изучение системного анализа (СА) в рамках образовательных программ университетов и ВУЗов позволяет развить системное мышление и увидеть преимущества его использования при решении любых задач любого уровня сложности в любой сфере деятельности [2-6].

**Системный подход** отличается от традиционного предположением, что целое обладает такими качествами (свойствами), каких нет у его частей. Наличием этих качеств целое, собственно, и отличается от своих частей. Данная связь между целыми и его частями была положена в основу первых определений системы, например такого простого: «система – это совокупность связанных между собой частей».

**Системный подход** опирается на известный диалектический закон **взаимосвязи и взаимообусловленности** явлений в мире и в обществе.

**Системный подход** требует прослеживания как можно большего числа связей – не только внутренних, но и внешних, чтобы не упустить действительно существенные связи и факторы и оценить их эффекты.

**Системный подход** к анализу и разработке систем находит применение в том или ином аспекте многими науками (системотехника, исследование операций, системный анализ и др.). Между этими науками нет чётких границ, весьма часто в них используются одинаковые математические методы.

## 1.2. ПОНЯТИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА. ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ И ПРОБЛЕМА

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. СА является дальнейшим развитием целого ряда дисциплин, таких как основы теории систем (ОТС), исследование операций (ИО), теория оптимального управления, теория принятия решений, экспертный анализ, теория организации эксплуатации систем и т.д. 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 [7].** Широкое распространение идей и методов СА, а главное – успешное их применение на практике стало возможным только с внедрением и повсеместным использованием компьютеров. Именно применение компьютеров 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 определённой альтернативы в условиях различного рода неопределённостей. Неопределённость обусловлена многокритериальностью задач оптимизации, неопределённостью целей развития систем, неоднозначностью сценариев развития системы, недостаточностью априорной информации о системе, воздействием случайных факторов в ходе динамического развития системы и прочими условиями. Для успешного решения поставленных задач СА использует всю совокупность формальных и неформальных процедур. Учитывая данные обстоятельства, **СА – это методология решения проблем, основанная на структуризации систем и количественном сравнении альтернатив.** Дадим другое определение. **СА – это методика улучшающего вмешательства в проблемную ситуацию с целью решения проблемы.**

Таким образом появляются новые понятия проблемная ситуация и проблема.

**Проблемная ситуация** – это некоторое реальное стечение обстоятельств, положение вещей, которым кто-то недоволен, неудовлетворён и хотел бы изменить [8].

Понятие **проблема** базируется на том, как мы оцениваем или воспринимаем окружающую нас действительность. Или по-другому: разрыв между действительным и желаемым содержит проблему. Решение проблемы – это искусство преодоления данного разрыва через применение обоснованно выбранного управленческого решения для изменения действительности.

Автор [8] отмечает, что проблема и проблемная ситуация неразрывно связаны двумя аспектами: объективным (наличие реальной ситуации) и субъективным (негативная оценка реальной ситуации субъектом). Тогда логически следует следующая схема: решить проблему – значит сделать нечто для уменьшения или снятия недовольства субъекта. Такого субъекта называют клиентом, а лицо, занимающееся решением проблемы, – системным аналитиком.

**Системность** есть всеобщее свойство материи, форма её существования, а значит, и неотъемлемое свойство человеческой практики, включая мышление. Однако, всякая деятельность может быть менее или более системной. **Появление проблемы — признак недостаточной системности; в то время, как решение проблемы — результат повышения системности.** Или, другими словами. Действия по повышению системности (а значит – снижению проблемности системы) есть движение от хаоса к гармонии системы, то обратные действия (повышение проблемности системы) есть движение от гармонии к хаосу.

В рамках СА 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) неструктурированные или качественно выраженные проблемы, содержащие лишь описание важнейших ресурсов, признаков и характеристик, количественные зависимости между которыми совершенно неизвестны;

в) слабо структурированные или смешанные проблемы, которые содержат как качественные, так и количественные элементы, причём качественные малоизвестные и неопределённые стороны проблемы имеют тенденцию доминировать.

Для решения **хорошо структурированных проблем** используется методология 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 путём анализа исходных предпосылок и результатов математического расчёта, что эта модель отражает существо решаемой задачи.

В **неструктурированных проблемах** традиционным является эвристический метод, который состоит в том, что опытный специалист собирает максимум различных сведений о решаемой проблеме, «вживается» в неё 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 определённые предложения, не может сколько-нибудь чётко изложить способ, на основе которого он от совокупности разрозненных исходных сведений пришёл 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 структурированным проблемам**, для решения которых предназначен СА, относится большинство наиболее важных экономиче-

ских, технических, политических и военно-стратегических задач крупного масштаба.

При осуществлении СА в процессе структуризации проблемы некоторые её элементы-подзадачи получают количественное выражение и отношения между всеми элементами становятся всё более определёнными. Исходя из этого, в отличие от применения методов ИО, при использовании системного анализа совсем не обязательна первоначальная чёткая и исчерпывающая постановка проблемы, эта чёткость 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 компьютерах.

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

### **1.3. ПОНЯТИЕ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ. ПРИКЛАДНОЙ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ**

Объектом изучения СА являются сложные системы. Понятие системы стало широко использоваться в XX веке. Родоначальником теории систем считают австрийского учёного, биолога **Людвига фон Берталанфи** [9]. Он, пытаясь развить теоретическую эмбриологию, начал создавать ОТС. Современное состояние теории систем связывают с бельгийским учёным русского происхождения **Ильёй Романовичем Пригожиным**, нобелевская премия 1977 г. Необходимо отметить также **Иммануила Мориса Валлерстайна**, предложившего миросистемный анализ. Суть предложенного им миросистемного подхода состоит в том, что базовой единицей анализа является мир в целом, состоящий из ядра и периферии.

Теория систем впервые проявила себя в точных инженерных науках, в военной сфере, в управлении и сформировалась как самостоятельная наука в 40-50 годах XX века.

ОТС развивалась параллельно с кибернетикой (в 1948 г. американский математик Норберт Винер опубликовал книгу «Кибернетика»).

По степени общности ОТС ставят на один уровень с математикой и философией. Поэтому ОТС претендует на роль своеобразного «скелета науки».

В повседневной жизни термин система используют в тех случаях, когда хотят охарактеризовать объект как нечто целое, сложное, о чём невозможно сразу получить представление. Предполагается, что для характеристики системы необходимо рассмотреть различные аспекты её функционирования, проанализировать различные её свойства. Отметим сразу, что в литературе встречается большое количество определений сложной системы. Все они отражают те или иные важные стороны данного объекта. Приведём ряд определений и проанализируем их.

В «Философском словаре» **система** определяется как «совокупность элементов, находящихся в определённых отношениях и связях между собой и образующих некоторое целостное единство». Ю.И. Дегтярев [10] определяет систему следующим образом: «**Системой** называется упорядоченная совокупность материальных объектов (элементов), объединённых какими-либо связями (механическими, информационными и др.), предназначенных для достижения определённой цели и достигающих её наилучшим (по возможности) образом». В данном определении выделяется три основных компоненты системы – элементы, связи и операции. Важной особенностью системы является то, что она создаётся или функционирует (если это естественная, а не искусственная система) для достижения определённой цели. То есть в результате динамического поведения системы решаются какие-то определённые задачи, которые в конечном итоге приводят к достижению глобальной цели функционирования или развития системы. Авторы монографии [7] 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 определённые свойства системы.

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 определённых структур и взаимосвязей. Система есть организационное единство элементов. Нарушение взаимосвязей приведёт к деградации или разрушению системы. Это относится как к материальным объектам, так и к нематериальным – **замыслам, идеям, концепциям, теориям**. Сумма одних и тех же фактов (данные, информация, знания), образующих идею, приводит не к одному, а к нескольким нематериальным результатам, выводам, образующим нематериальную систему. Например, новое научное направление, научное или технологическое открытие.

Вторая особенность систем состоит в том, что они обладают свойствами оптимальности. Системы проектируются с учётом 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 определённых задач. *Не существует систем, не предназначенных ни для чего, не решающих никакие задачи. Любая система имеет своё 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.

За годы развития СА выделились универсальные методики, которые оформились в специальную технологию под названием **прикладной системный анализ (ПСА)**. Для использования технологии ПСА нужно понять и применять его методологию, системный взгляд на окружающую действительность.

В [8] приведены отличия ПСА от других дисциплин:

- нацеленность на решение конкретной проблемы, а не поиск общих закономерностей;
- универсальный, наддисциплинарный характер, для решения проблем могут потребоваться знания из различных предметных областей (междисциплинарность);
- со временем пришло понимание того, что ПСА представляет собой объединение науки, искусства и ремесла. Причём в различном процентном соотношении в зависимости от предметной области;
- аналитикой стали заниматься сами участники проблемной ситуацией. Результат системного анализа получает не профессионал-аналитик, а коллектив участников проблемной ситуации с участием и консультацией аналитика. Другими словами, заказчик услуг системного аналитика из наблюдателя процесса решения проблемы превращается в решателя проблемы.

#### **1.4. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА. СУТЬ И ЗАДАЧИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

Представление о системе связывается с определёнными понятиями, такими как цель системы, элемент, подсистема, среда, связь и т.д.

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 ещё 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 её элементами, определяющий функциональное отношение между элементами, функциональное назначение системы и её воздействие с внешней средой.

Под **целостностью** системы понимается **принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих её 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 изменяться или деформироваться.

Вид отношений между элементами, который проявляется как некоторый обмен взаимодействиями, называется **связью**. Это понятие характеризует строение (статическую) и функционирование (динамическую) исследуемой системы. Обратной стороной наличия связей является ограничение степени свободы элементов, входящих в систему. 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. Обратная связь является основой приспособления систем к изменяющимся услови-

ям существования, основой саморегулирования и развития систем. Как правило, выделяются внутренние (внутрисистемные) 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 определённый 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.

Суть СА заключается в следующем:

- ❖ СА связан с принятием оптимального решения, выбранного из многих возможных альтернатив;
- ❖ каждая альтернатива оценивается с позиции длительной перспективы;
- ❖ СА – методология углублённого уяснения (понимания) и упорядочения (структуризации) проблемы;
- ❖ в СА делается упор на разработку новых принципов мышления с учётом взаимосвязей части и целого и их противоречивого единства;
- ❖ применяется в первую очередь для решения стратегических проблем.

В состав задач СА в процессе исследования, проектирования и создания различных систем входят задачи декомпозиции, анализа и синтеза.

- ❖ *Задача декомпозиции* означает представление системы в виде подсистем, состоящих из более мелких элементов.
- ❖ *Задача анализа* состоит в нахождении различного рода свойств системы или среды, окружающей систему. Целью анализа может быть определение закона преобразования информации, задающего пове-

дение системы. В последнем случае речь идёт об агрегации (композиции) системы в один-единственный элемент.

- ❖ **Задача синтеза** системы противоположна задаче анализа. Необходимо по описанию закона преобразования построить систему, фактически выполняющую это преобразование по определённому алгоритму. При этом должен быть предварительно определён класс элементов, из которых строится искомая система, реализующая алгоритм функционирования.

## 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 учётом логических правил деления всего объёма понятий, связанных с системами, позволяет сформулировать следующие требования к построению классификации:

- в одной и той же классификации необходимо применять одно и то же основание;
- объём элементов классифицируемой совокупности должен равняться объёму 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 целеустремлённости – 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 её 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 (возможностей). Для вероятностной системы знание текущего состояния и особенностей взаимной связи элементов недостаточно для предсказания будущего поведения системы со всей определённойностью. 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 находящихся 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 сформиро-

ванных критериев, а также с учётом 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 противоположные. 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 также стохастическую систему можно рассматривать как частный случай игровой, когда идёт игра с природой.

**По типу целеустремлённости** – 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. Закрытые (или замкнутые) 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. Причём 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 разветвлённостью 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 [11]. 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 создаётся 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 её 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 надёжности системы с множеством компонентов. В данном случае характеристики надёжности группы однотипных элементов определяются на основании выборочной информации, полученной в результате наблюдений за их работой на ограниченном отрезке времени при определённых уровнях воздействующих факторов. Затем полученные оценки распространяются на весь период эксплуатации объекта. Данные оценки используются при проведении расчётов характеристик надёжности 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 неопределённости в поведение системы, чем затрудняют проведение анализа системы, построение её модели, формальное её 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 определённых 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 СИСТЕМНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### Постановка задачи

Задан объект для системных 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

Отообразим наш объект в виде структурной схемы (рис. 1). На рис. 1 видно, из каких структурных частей состоит система – подсистемы, элементы, среда, связи.

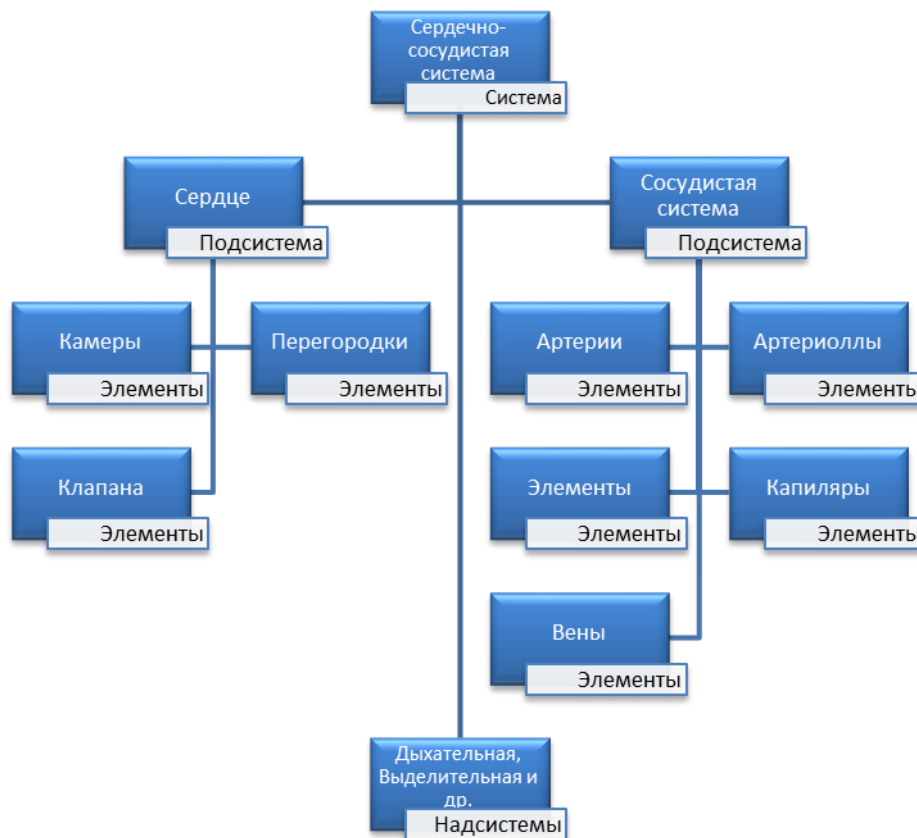


Рис. 1. Структурная схема сердечно-сосудистой системы

### Описание (исследование) системы

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

Целью сердечно-сосудистой системы является выполнение транспортной функции. Проходя по сети сосудов, кровь переносит кислород, питательные вещества, необходимые для функционирования внутренних органов человека.

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. Так же, как и рассматриваемая система влияет на другие органы человека.

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 неё входящих. Целостность можно назвать эмерджентностью системы.

### **Признаки системы**

**Структурируемость** – данная система построена на основе чёткой структуры, что видно из рисунка.

**Взаимосвязанность частей системы** – элементы кровеносной и сосудистой подсистем (основных подсистем ССС) взаимодействуют друг с другом.

**Подчинённость организации всей системы определённой цели.** Цель нашей ССС очевидна и описана выше.

**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 целеустремлённости: 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 её сложными подсистемами: сердце обеспечивает постоянно необходимое давление в сосудах, которые, в свою очередь, опутывают обширной сетью всё 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 [12]. Метод (от греч. *méthodos* – путь исследования или познания, теория, учение), совокупность приёмов или операций практического или теоретического освоения действительности, подчинённых решению конкретной задачи [13].

**Методология** – учение о научном методе вообще или о методах отдельных наук [12]. Методология – (от греч. *Methodos* – исследование + *Logos* – учение) – система наиболее общих принципов, положений и методов, составляющих основу той или иной науки [13].

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 всё менее подходящей для количественного описания, формализм становится всё 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 определяемой. Для описания риска в сложных количественно-качественных проблемах используется термин «неопределённость». При таком использовании термин «неопределённость» означает относительное правдоподобие фактически случившегося события. Риск или неопределённость могут проявляться на всём протяжении процесса решения проблемы [14, 15]. 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 неучтённых 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 чём 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 трёх альтернативных версий одной и той же конструкции автомобиля, выпускаемых для решения одной и той же задачи. Функцио-

нальные 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 даёт возможность принять или исключить определённое число решений. Приемлемые решения сравниваются, чтобы отобрать доминирующее или превосходящее. Критерий является измерителем цели. Приемлемость решения ещё не означает его пригодности для отбора. Должен быть оценён 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 [16]:

- 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 СА, 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. прошлого века как метод тренировки мышления, нацеленный на открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивного мышления. Методы этого типа известны также под названиями «мозговой штурм», «конференция идей», «коллективная генерация идей» (КГИ).

Обычно при проведении сессий КГИ стараются выполнять определённые 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 её ложной и не прекращать обсуждение;
- желательно высказывать как можно больше идей, особенно нетривиальных.

В зависимости от принятых правил и жёсткости 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 возможные 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 её 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 сцена-

риев оказывают специалисты по СА. 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 СА.

### **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 надёжнее, чем мнение отдельного эксперта. В некоторых теоретических исследованиях отмечается, что это предположение не является очевидным, но одновременно утверждается, что при соблюдении определённых требований в большинстве случаев групповые оценки надёжнее 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.

Всё 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 экспер-

тов 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 чёткое 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 (по-французски согласия)  $W$ , 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 обобщённые мнения таких групп противоположны.

Для наглядности представления о степени согласованности мнений двух любых экспертов А и В 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 [16]:

- 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 использова-

нием количественных оценок при оценке деревьев цели и при разработке сценариев за счёт использования обратной связи, ознакомления экспертов с результатами предшествующего тура опроса и учёта 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, исключая 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 путём 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 развёртывание 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 путём 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 путём комбинирования выделенных элементов или их признаков. В систематизированном виде морфологический подход разработан и применён 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, сформу-

лировав 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 способа ухода за газоном на земельном участке.

Была собрана группа экспертов и в результате сессии по методу КГИ были предложены следующие идеи решения проблемы, некоторые из них были весьма абсурдными:

1. Самостоятельно подстричь газон секатором.
2. Спроектировать механическое устройство для стрижки газона.
3. Самостоятельно покосить траву ручной косой.
4. Предложить соседу бартер, взамен на покос газона.
5. Попросить помощи у соседа покосить траву ручной косой.
6. Нанять частного работника для покоса.
7. Нанять газонокосильщика из компании.
8. Купить газонокосилку и научиться ею пользоваться.
9. Купить газонокосилку и найти человека, готового помочь покосить ею газон.

В итоге после рассуждений четыре наиболее реалистичных варианта-альтернативы были выбраны для дальнейшего анализа:

1. Самостоятельно подстричь газон секатором.
2. Попросить помощи у соседа покосить траву ручной косой.
3. Нанять газонокосильщика из компании.
4. Купить газонокосилку и подстричь газон самостоятельно.

Также в ходе КГИ были выявлены критерии оценки альтернатив, которые будут использованы при решении проблемы: скорость, качество, стоимость, цикличность, трудоёмкость и безопасность.

Эта задача является слабоструктурированной проблемой, поэтому далее для её решения можно применить 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 четырёх человек для выбора способа ухода за газоном путём оценки качества ухода.

Имеется 4 эксперта Э1, Э2, Э3, Э4 и 4 проекта П1, П2, П3, П4, подлежащих оценке. Эксперты осуществляют попарное сравнение проектов, оценивая их важность в долях единицы. Результаты сведём в табл. 1. Затем находим сумму по столбцам.

*Таблица 1. Оценка вариантов решения проблемы экспертами*

Э <sub>г</sub> / П <sub>г</sub> ↔ П <sub>к</sub>	Первичная оценка альтернатив											
	П <sub>1</sub> ↔ П <sub>2</sub>		П <sub>1</sub> ↔ П <sub>3</sub>		П <sub>1</sub> ↔ П <sub>4</sub>		П <sub>2</sub> ↔ П <sub>3</sub>		П <sub>2</sub> ↔ П <sub>4</sub>		П <sub>3</sub> ↔ П <sub>4</sub>	
Э <sub>1</sub>	0,5	0,5	0,3	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,45	0,55	0,6	0,4
Э <sub>2</sub>	0,4	0,6	0,1	0,9	0,9	0,1	0,3	0,7	0,8	0,2	0,9	0,1
Э <sub>3</sub>	0,35	0,65	0,4	0,6	0,3	0,7	0,45	0,55	0,45	0,55	0,45	0,55
Э <sub>4</sub>	0,5	0,5	0,05	0,95	0,2	0,8	0,05	0,95	0,2	0,8	0,55	0,45
<b>Σ</b>	<b>1,75</b>	<b>2,25</b>	<b>0,85</b>	<b>3,15</b>	<b>1,8</b>	<b>2,2</b>	<b>1,3</b>	<b>2,7</b>	<b>1,9</b>	<b>2,1</b>	<b>2,5</b>	<b>1,5</b>

Находим оценки, характеризующие предпочтение одного из проектов над всеми прочими:  $f(П_1) = \sum_{I=1}^N П_I :$

$$f(П_1) = 1,75 + 0,85 + 1,8 = 4,4; \quad f(П_2) = 2,25 + 1,3 + 1,9 = 5,45;$$

$$f(П_3) = 3,15 + 2,7 + 2,5 = 8,35; \quad f(П_4) = 2,2 + 2,1 + 1,5 = 5,8.$$

Сумма всех оценок:

$$\sum_{I=1}^N f(П_I) = 24.$$

Получили искомые веса целей по правилу нормирования:

$$P_1 = 4,4/24 = 0,18(3); \quad P_2 = 5,45/24 = 0,22708(3);$$

$$P_3 = 8,35/24 = 0,34791(6); \quad P_4 = 5,8/24 = 0,241(6).$$

Сумма искомых весов целей должна быть равна 1, значит расчёты верны.

**Вывод:** так как третья альтернатива имеет наибольший вес цели (0,34791(6)), то более предпочтительно нанять газонокосильщика из компании.

### 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 лёгкости 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 влечёт 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 [16]:

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

Однако поскольку большинство частных показателей качества связаны между собой так, что повышение качества системы по одному показателю ведёт 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 СА есть три важные особенности.

**Во-первых**, считается, что не существует системы, наилучшей в независимом от лица, принимающего решение (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 ресурсоёмкости [16].

**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 неё отсутствуют средства решения.

Оценивание систем по критериям производится с помощью шкал [16].

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

Операции, выполняемые в условиях риска, называются **вероятностными** [16]. 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 надёжности 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 си-

стем 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 исключён случай выбора неоптимальной системы для конкретной реализации операции. Однако если операция будет многократно повторяться, то оптимальная в среднем система приведёт к наибольшему успеху.

Сведение задачи оценки систем к вероятностной постановке применимо для операций, имеющих массовый характер, для которых имеется возможность определить объективные показатели исходов, вероятност-

ные характеристики по параметрам обстановки и законы распределения вероятностей на множестве исходов операции.

Рассмотрим задачу по оценке эффективности систем в вероятностных операциях по приведенному критерию.

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

### Решение задачи

Для удобства сведём данные задачи в следующую схему (рис. 2)

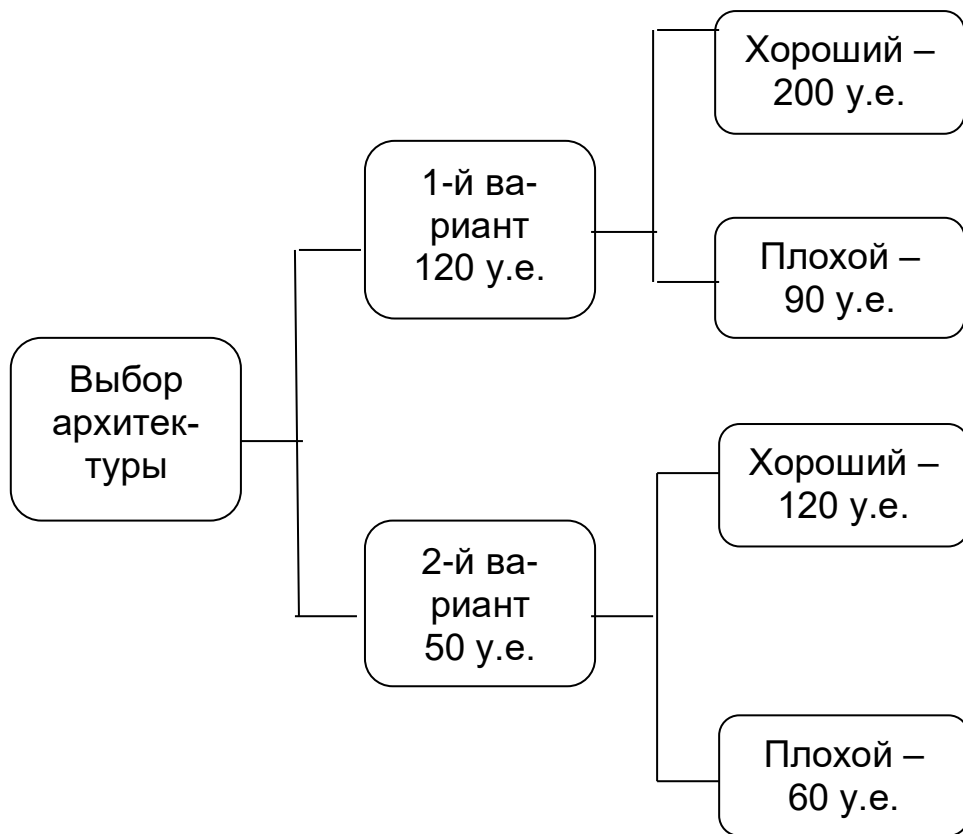


Рис. 2. Схема с условиями задачи

Сведём в табл. 2 все данные задачи.

Таблица 2. 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 каждого варианта.

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

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

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

**Вывод:** расчёт показателей и оценка эффективности по критерию превосходства показывают, что при втором варианте будет максимальная прибыль (наибольший денежный выигрыш).

### 3.2.2. ОЦЕНКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

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 нечёткими 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 неопределённых 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  $n_j$ ;

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

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

В неопределённой 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 неопределённости при оценке систем используются субъективные предпочтения ЛПР. По этой причине единого критерия оценки эффективности для неопределённых 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 неопределённых операциях используются критерии:

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

**Постановка задачи.** Необходимо оценить один из трёх разрабатываемых программных продуктов  $a_i$  для борьбы с одним из четырёх типов программных воздействий  $K_j$ . Матрица эффективности представлена в табл. 3.

*Таблица 3. Матрица эффективности*

$a_i$	$k_j$			
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
$a_1$	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 необходимо, по существу, перевод операции из неопределённой в вероятностную, причём 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 **а3**. Критерий Лапласа представляет собой частный случай критерия среднего выигрыша.

**Критерий осторожного наблюдателя (Вальда).** Это максиминный критерий, он гарантирует определённый 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 даёт 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  $a_2$ .

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 максимакса.** 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 максимаксного 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  $a_1$ . Критерий максимакса – самый оптимистический критерий. Те, кто предпочитает им пользоваться, всегда надеются на лучшее состояние обстановки и, естественно, рискуют.

**Критерий пессимизма-оптимизма (Гурвица).** Это критерий обобщённого 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  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ), характеризующий отношение к риску лица, принимающего решение. Эф-

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

$$K_{\text{опт}} = \max | \alpha \max k_{ii} + (1 - \alpha) \min k_{ii} |, \quad 0 \leq \alpha \leq 1.$$

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:

$$\Delta k_{ij} = \max k_{ij} - k_{ij}.$$

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 (табл. 4).

Таблица 4. Матрица потерь

a <sub>i</sub>	k <sub>j</sub>			
	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>
a <sub>1</sub>	0,1	0	0,3	0,2
a <sub>2</sub>	0	0,2	0,2	0
a <sub>3</sub>	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<sub>3</sub>**. О критерии Сэвиджа можно сказать, что он, как и критерий Вальда, относится к числу осторожных критериев. По сравнению с критерием Вальда в нём придаётся несколько большее значение выигрышу, чем проигрышу. Основной недостаток критерия – не выполняется требование 4.

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

– природа конкретной операции и её цель (в одних операциях допустим риск, в других – нужен гарантированный результат);

– причины неопределённости (одно дело, когда неопределённость является случайным результатом действия объективных законов природы, и другое, когда она вызывается действиями разумного противника, стремящегося помешать в достижении цели);

– характер ЛПР (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 сведём в табл. 5.

*Таблица 5. Результаты оценки*

$a_i$	$k_i$				$K(a_i)$ по критериям					
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	Среднего выигрыша	Лапласа	Вальда	максимакса	Гурвица	Сэвиджа
$a_1$	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 учёта неопределённости 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 проблем и использованию соответствующих методов их решения.

(Ю.И. Черняк, профессор)

Как реакцию на сложность методов, основанных на теории многокритериальной полезности и требующих достаточно много усилий при практическом применении, можно оценить появление ряда **эвристических методов**, не имеющих строго математического обоснования, но использующих простые процедуры получения информации и её агрегации в общую оценку альтернативы. Одним из наиболее известных методов такого типа является метод SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique – простая многокритериальная рейтинговая технология), представляющий собой простой метод многокритериальной оценки [17]. А также метод анализа иерархий (МАИ) или подход аналитической иерархии (Analytic Hierarchy Process – АНП), которые широко известны в настоящее время [17].

### 4.1. МЕТОД SMART

Метод SMART, предложенный В. Эдвардсом в 1977 г., представляется 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 табл. 6.

Таблица 6. Оценки критериев

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:

$$W_i = \frac{A_i}{\sum_i^n A_i},$$

где  $A_i$  – баллы критерия,

$n$  – количество критериев.

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

Приведём результаты нормировки (табл. 7).

Таблица 7. 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:

$$O_i = \sum_i^n (W_i \times B_i)$$

где  $B_i$  – оценка альтернативы по каждому критерию,

$W_i$  – нормировка весов.

В результате получается табл. 8.

*Таблица 8. Результирующая таблица*

Альтернативы	Критерии $B_i$							Оценка альтернативы $O_i$
	Частота процессора	Память	Разрешение экрана	Размер	Вес	Время разговора	Стоимость	
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, разработанный американским учёным Томасом Саати [17, 18]. 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 определённую 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 (табл. 9):

Таблица 9. Шкала интенсивности МАИ

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 расчётов формулы будут приводиться по мере необходимости. Расчёты рекомендуется производить с помощью программ Excel, MatLab или, при желании, на обычном калькуляторе.

### Постановка задачи

Необходимо осуществить выбор коммуникаторов из пяти предложенных альтернатив с помощью МАИ:

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

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

Сведём все показания в табл. 10.

Таблица 10. Исходные данные задачи

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 единичную матрицу, в которой попарно сравним критерии, используя шкалу (табл. 9). Далее находим оценку компонент собственного вектора для каждого критерия:

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

Находим сумму оценок, в нашем случае 10,65249.

Определяем нормализованную оценку вектора приоритета.

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

Все расчётные данные сведём в табл. 11 (помните, что расчёты можно производить с помощью программ Excel, MatLab или, при желании, на обычном калькуляторе).

Таблица 11. Расчётные данные задачи

Критерии	Частота процессора	Память	Разрешение экрана	Размеры	Вес	Время разговора	Стоимость	Оценка компонент собственного вектора	Нормализованные оценки вектора прироста
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 даёт 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 формировании и заполнении обратно симметричной матрицы. Ниже даны средние согласованности для случайных матриц разного порядка (табл. 12).

*Таблица 12. Средние согласованности для 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 задачи

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

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. Для этого составляем табл. 13 – табл. 19, в которых попарно сравниваем альтернативы, используя шкалу (аналогично тому, как мы сравнивали критерии).

Сравниваем альтернативы по критерию – **частота процессора.**

Таблица 13. Сравнение альтернатив 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**

Таблица 14. Сравнение альтернатив 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

Таблица 15. Сравнение альтернатив по критерию разрешение экрана

Альтернативы	Toshiba G900	Asus P535	RoverPC X7	HTC Hero	Glofiish X650	Оценка компонента собственного вектора	Нормализованные 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

Таблица 16. Сравнение альтернатив по критерию размеры

Альтернативы	Toshiba G900	Asus P535	RoverPC X7	HTC Hero	Glofiish X650	Оценка компонента собственного вектора	Нормализованные 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**

Таблица 17. Сравнение альтернатив 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**

Таблица 18. Сравнение альтернатив 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

Таблица 19. Сравнение альтернатив 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 %

Начнём заполнение итоговую табл. 20 следующим образом. Смотрим ранее заполненные табл. 13 – табл. 19. 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 табл. 13 – табл. 19.

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:  $0,232 * 0,0831 + 0,179 * 0,172 + 0,077 * 0,589 + 0,025 * 0,037 + 0,021 * 0,027 + 0,1 * 0,05 + 0,363 * 0,437 = 0,2608$ .

Окончательные результаты решения задачи с помощью МАИ приведены в табл. 20.

Таблица 20. Результаты

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	
<b>Toshiba</b>	0,0831	0,1720	0,5894	0,0372	0,0279	0,0501	0,4374	<b>0,2608</b>
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:** в результате проведенных действий и после сравнения глобальных приоритетов моделей выяснилось, что у модели Toshiba G900 данный параметр равен 0,2608, что больше значений глобальных приоритетов остальных моделей коммуникаторов. Поэтому лучшей альтернативой является Toshiba G900.

Авторы данного пособия в своей научно-педагогической деятельности использовали системный подход и описываемые методики ПСА в исследованиях проблем оптимальной организации вычислений в распределённых компьютерных системах, результаты которых приведены в работах [19-21].

Отдельно хотелось бы отметить важнейшую роль моделирования в работе системного аналитика. Без этого компонента говорить о том, что проблемная ситуация исследована и предложены верные шаги решения проблемы бессмысленно. Мы считаем, что описание моделирования, как обязательной составляющей системного исследования, заслуживает отдельного издания и поэтому не включили материалы по моделированию в настоящее учебно-методическое пособие.

В настоящее время мы широко используем в учебном процессе систему моделирования AnyLogic, сочетающую в себе широкий спектр видов моделирования и анимационное представление объекта моделирования. Последнее обстоятельство позволяет лучше понять природу и связи объекта исследования, который состоит из множества динамически взаимодействующих частей. Также нельзя ни отметить широкий диапазон областей применения моделей, создаваемых в среде моделирования AnyLogic. Опыт применения AnyLogic и использования современных подходов и средств моделирования, который мы получили в процессе преподавания дисциплин «Бизнес-аналитика», «Системный анализ», «Прикладной системный анализ», «Интеллектуальные системы», МУАМ-дисциплины «Распределённые интеллектуальные системы», отражён в следующих изданиях [22, 23].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В прикладном системном анализе, как неотъемлемой части системного анализа, 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 [11]. Современный специалист в самых различных областях сталкивается с проблемой получения оптимального варианта объекта своей профессиональной деятельности, как одного из путей решения проблемы. Поэтому наряду с навыками аналитика он должен владеть инструментами выбора лучшей альтернативы из множества сгенерированных. Последнее обстоятельство в современных условиях невозможно представить без квалифицированного использования средств моделирования, анализа данных и поддержки принятия управленческих решений с использованием новейших информационных технологий.

Предлагаемое учебно-методическое пособие обобщает многолетний опыт преподавания дисциплин «Бизнес-аналитика», «Системный анализ», «Прикладной системный анализ», целью которых является ознакомление студентов с основными понятиями и определениями, а также приобретение студентами необходимых практических навыков на основе теоретических знаний, получаемых на лекционных занятиях. Наряду с теорией пособие содержит пример исследования системы и доказательство её системности, разбор подходов количественной и качественной оценки систем, выбор альтернатив с помощью SMART и МАИ на примерах.

Тематика и широта рассмотренных в учебно-методическом пособии вопросов, связанных с теорией и практикой улучшающего вмешательства в проблемную ситуацию, соответствуют современному взгляду авторов на преподавание данной дисциплины и, возможно, не отражают всей существующей полноты.

**Приложение 1**  
**Варианты заданий**

## **Варианты предметных областей для системного исследования**

1. Библиотека
2. Поликлиника
3. Лес
4. Мобильный телефон или смартфон
5. Студенческая группа
6. Велосипед
7. Персональный компьютер
8. Человек
9. Дерево
10. Средняя школа
11. Море
12. Семья
13. Автомобиль
14. Город
15. Планета Земля
16. Ресторан
17. Политическая партия
18. Самолёт
19. Сеть Интернет
20. Музыкальная группа
21. Профсоюзная организация
22. Правительство РФ
23. Солнечная система
24. Военское подразделение
25. Кулинарное блюдо
26. Художественное произведение (роман, фильм, спектакль и т.п.)
27. Строительная бригада
28. Футбольная команда
29. Правила дорожного движения
30. Магистерская диссертация

## **Варианты заданий для выбора альтернатив**

1. Выбор браузера для работы в Интернете
2. Выбор города России для работы
3. Выбор места для летнего отдыха
4. Выбор брендового магазина для покупки одежды
5. Выбор сотового телефона или смартфона
6. Выбор автомобиля для приобретения
7. Выбор породы собаки для охраны дома
8. Выбор авиакомпании для перелёта
9. Выбор тарифного плана для сотового телефона или смартфона
10. Выбор банка для хранения вклада
11. Выбор вида банковского вклада
12. Выбор места для проживания в России
13. Выбор платёжной карты для перечисления заработной платы
14. Выбор ВУЗа для поступления абитуриента
15. Выбор магазина для покупки продуктов
16. Выбор ноутбука для работы дизайнера
17. Выбор игрового ноутбука
18. Выбор графического редактора для работы архитектора
19. Выбор места работы в рамках полученной специальности
20. Выбор страховой компании для страхования автомобиля
21. Выбор специальности при поступлении в ВУЗ
22. Выбор средней школы для учёбы ребёнка
23. Выбор автомобильной школы для обучения вождению
24. Выбор ресторана для проведения торжества
25. Выбор жилья для приобретения
26. Выбор туроператора
27. Выбор структуры инвестиционного портфеля
28. Выбор маршрута автомобильного путешествия
29. Выбор стоматологической клиники
30. Выбор политической партии

**Приложение 2**  
**Контрольные вопросы**

1. Признаки системности.
2. Определение системного анализа.
3. Принципы системного анализа.
4. Что такое система?
5. Что такое элемент?
6. Что такое подсистема?
7. Что такое связь? Внутренние и внешние связи.
8. Отличие элемента от подсистемы.
9. Что такое цель системы?
10. Открытые и закрытые системы.
11. Детерминированные и вероятностные системы.
12. Классификация систем по происхождению.
13. Метод и методология.
14. Определение критерия.
15. Определение альтернативы.
16. С какими целями выполняют оценку систем?
17. Какие бывают проблемы?
18. Что такое модель?
19. Основные методы качественного оценивания систем.
20. Метод КГИ.
21. Метод экспертных оценок.
22. Что такое ранжирование?
23. Какие операции называют вероятностными?
24. Последовательность этапов метода SMART.
25. Недостатки и преимущества метода SMART.
26. Как можно уменьшить субъективность метода SMART.
27. Последовательность этапов МАИ.
28. Роль отношения согласованности в МАИ.
29. Какое значение отношения согласованности в МАИ считается оптимальным?
30. Недостатки и преимущества МАИ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981.
2. Норкин О.Р., Парфенова С.С., Ховансков С.А. Практика применения системного подхода в оценке сложных систем. Монография // LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co, Saarbrücken, Germany, ISBN 978-3-659-39812-4, 2015. P. 84.
3. O. Norkin, S. Parfenova Systems analysis as a basis for innovative engineering training // INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND DIDACTICS IN TEACHING: materials of conference. –Berlin: MVB Marketing- und Verlagsservice des Buchhandels GmbH, 2013. —P. 129-133.
4. Норкин О.Р., Парфенова С.С. Роль системного анализа в подготовке современного инженера // VII Международная научно-методическая конференция «Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров». LES PROBLEMES CONTEMPO-RAINS DE LA TECHNO-SPHERE ET DE LA FORMATION DES CADRES D'INGENIEURS. – Donetsk, Ukraine, 2013. С. 175-178.
5. Норкин О.Р., Парфенова С.С. Учебно-методическое пособие для практических занятий по дисциплине «Системный анализ» // № 4854. –Таганрог: Издательство ТТИ ЮФУ, 2012. –64 с.
6. Норкин О.Р., Парфенова С.С. Учебно-методическое пособие для лабораторных занятий по дисциплине «Системный анализ» // № 5155. –Таганрог: Издательство ИТА ЮФУ, 2014. –48 с.
7. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989.
8. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2010.
9. Bertalanffy L. An Outline of General System Theory – British J. For Phil. of Sci. 1950.
10. Дегтярев Ю.И. Системный анализ и исследование операций. – М.: Высшая школа, 1996.
11. Антонов А.В. Системный анализ. – М.: Высшая школа, 2004.
12. Ожегов С.И. Словарь русского языка. – М.: Госиздат иностранных и национальных словарей, 1963.
13. Ефремова Т.Ф. Толковый словарь русского языка. – М.: Русский язык, 2000.

14. Норкин О.Р., Парфенова С.С. Роль фактора неопределенности в системном анализе и его влияние на конфликты в проектировании систем // Электронный журнал «Информатика, вычислительная техника и инженерное образование». 2013. Вып. № 2 (13). С. 1-4.
15. Норкин О.Р., Парфенова С.С. Конфликты при проектировании информационных систем как следствие фактора неопределенности // Известия ЮФУ. Техн. науки. Тематический выпуск «Теория моделирования и проектирования систем». –Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2014. Т. 155. № 6. С.164-167.
16. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении: Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2005.
17. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах: Учебник. – М.: Логос, 2003.
18. Саати Т. Математические методы исследования операций. – М.: МО, 1963.
19. Норкин О.Р., Парфенова С.С. Системный подход в организации мониторинга кластерных вычислений // Сб. тр. IX Всерос. науч. конф. молодых учёных, аспирантов и студентов «Информационные технологии, системный анализ и управление». –Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. Т. 1. С.55-56.
20. Лисовенко Б.С., Норкин О.Р. Мониторинг, управление и визуализация распределенных вычислений на основе системного анализа // Сб. тр. XIII Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТ-САиУ-2015)». –Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ. 2016. Том 2. С. 248-253.
21. Норкин О.Р., Пашков Ю.А. Структурно-функциональный подход к проектированию информационной системы сборки распределенных программ // Сб. статей Межд. НПК «Технологии разработки информационных систем. ТРИС 2015». –Таганрог, Изд-во ЮФУ. 2015. С. 258-262.
22. Норкин О.Р., Парфенова С.С. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Бизнес-аналитика» // № 5855. ББК 32.973-018. –Таганрог: Издательство ИТА ЮФУ, 2019. –72 с.
23. Norkin O.R., Parfenova S.S. APPLYING ANYLOGIC TO DISCIPLINES WHERE BUSINESS PROCESSES NEED TO BE STUDIED, MODELED AND OPTIMIZED // Information Innovative Technologies: Materials of the International scientific-practical conference // Ed. Uvaysov S.U., Ivanov I.A. – М.: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2020, 332 p. P. 17-24.

**Для заметок и замечаний**

**Норкин Олег Рауфатович,  
Парфенова Светлана Саркисовна**

Учебно-методическое пособие по дисциплине  
**ПРИКЛАДНОЙ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ**

Ответственный за выпуск Парфенова С.С.  
Набор и компьютерная вёрстка Норкин О.Р., Парфенова С.С.  
Редактор  
Корректор

Подписано в печать  
Заказ № Тираж экз.  
Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл.п.л. – 4,6 Уч.изд.л. – 4,5

---

Отпечатано в Секторе обеспечения полиграфической продукцией кампуса в  
г. Таганроге отдела полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции  
ИПК КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ.  
ГСП17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1,  
Тел. (8864) 371717, 371655.

