

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Н. А. Соловьев, Е.Н. Чернопрудова, Д.А. Лесовой

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОГРАММИСТОВ

Рекомендовано Ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования направлениям подготовки 230100.62 Информатика и вычислительная техника, 231000.62 Программная инженерия, 230100.68 Информатика и вычислительная техника, 231000.68 Программная инженерия

Оренбург
2012

УДК 519.816(075.8)
ББК 22.18я73
С60

Рецензент - доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления и информатики в технических системах «Оренбургский государственный университет» В.Н. Шепель

Соловьев, Н.А.

С 60 Основы теории принятия решений для программистов: учебное пособие / Н.А. Соловьев, Е.Н. Чернопрудова, Д.А. Лесовой; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 187 с.
ISBN

В учебном пособии рассмотрены теоретические основы построения систем поддержки принятия решений: методология системного анализа и исследования операции. Теоретический материал дополнен примерами и задачами с решениями, вопросами и тестами для проверки усвоения материала.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования направлениям подготовки 230100.62 Информатика и вычислительная техника, 231000.62 Программная инженерия, 230100.68 Информатика и вычислительная техника, 231000.68 Программная инженерия при изучении следующих дисциплин: «Основы теории принятия решений», «Исследование операций», «Системы поддержки принятия решений», «Теория систем и системный анализ».

УДК 519.816(075.8)
ББК 22.18я73

ISBN

© Соловьев Н.А.,
Чернопрудова Е.Н.,
Лесовой Д.А., 2012
© ОГУ, 2012

Содержание

Введение	6
Часть 1 Основы системного анализа	8
Глава 1 Роль и место теории принятия решений в структуре подготовки специалиста	8
§ 1 Концептуальные основы принятия решений	8
§ 2 Цели изучения и структура курса теории принятия решения	13
§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля	15
Глава 2 Сущность автоматизации управления	15
§ 1 Обобщенный цикл управления	16
§ 2 Содержание процессов автоматизации управления	19
§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля	23
Глава 3 Введение в теорию систем	23
§ 1 Концепция систем	24
§ 2 Основные понятия теории систем	28
§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля	31
Глава 4 Принципы и структура системного анализа	32
§ 1 Принципы системного анализа	32
§ 2 Структура системного анализа	36
§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля	47
Глава 5 Концептуальные основы систем поддержки принятия решений	47
§ 1 Архитектура систем поддержки принятия решений	48
§ 2 Хранилище данных	54
§ 3 Многомерный анализ данных – OLAP-технологии	61
§ 4 Интеллектуальный анализ данных – технологии Data Mining	66
§ 5 Вопросы и задания для самоконтроля	70
Часть 2 Основы исследования операций	71
Глава 1 Введение в исследование операций	71
§ 1 Соотношение понятий качества и эффективности	71

§ 2 Показатели и критерии качества систем	72
§ 3 Показатели и критерии эффективности систем.....	76
§ 4 Вопросы и задания для самоконтроля	79
Глава 2 Оценивание систем.....	79
§ 1 Цели и этапы оценивания	80
§ 2 Методы измерения	81
§ 3 Правила осреднения.....	85
§ 4 Вопросы и задания для самоконтроля	88
Глава 3 Методы оценивания систем	88
§ 1 Общая характеристика методов оценивания	88
§ 2 Методы качественного оценивания	90
§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля	96
Глава 4 Методы количественного оценивания систем	97
§ 1 Общая характеристика количественных методов оценивания.....	97
§ 2 Принятие решений в условиях определенности	98
§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля	104
Глава 5 Оценка сложных систем в условиях стохастической неопределенности.....	105
§ 1 Принятие решений в условиях риска	105
§ 2 Принятие решений на основе функции полезности	109
§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля	115
Глава 6 Принятие решений в статистически неопределенных ситуациях	115
§ 1 Оценка сложных системы в условиях статистической неопределенности	116
§ 2 Методики принятия решений на основе критериев предпочтения лица при- нимающего решения	117
§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля	121
Часть 3 Основы управления	123
Глава 1 Организационно-техническое управление	123
§ 1 Задачи организационно-технического управления	123
§ 2 Аксиомы теории управления	124

§ 3 Принцип необходимого разнообразия Эшби	126
§ 4 Вопросы и задания для самоконтроля	131
Глава 2 Описание основных функций организационно-технического управления	132
§ 1 Классификация процессов управления	132
§ 2 Содержательное описание функций управления	134
§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля	140
Глава 3 Модели основных функций организационно-технического управления	141
§ 1 Модель общей задачи принятия решений	141
§ 2 Модель функции контроля	144
§ 3 Модель функции планирования	145
§ 4 Вопросы и задания для самоконтроля	149
Глава 4 Методы прогнозирования.....	150
§ 1 Экстраполирование	151
§ 2 Методы вероятностного прогнозирования	153
§ 3 Методы долгосрочного прогнозирования.....	157
§ 4 Вопросы и задачи для самоконтроля	159
Список использованных источников	160
Приложение А Тесты контроля знаний	161
Приложение Б Варианты расчетно-графического задания	176

Введение

Высокие темпы информатизации различных видов деятельности в настоящее время привели к тому, что появилось противоречие между простотой освоения работы на компьютере и незначительной эффективностью функционирования автоматизированных информационных систем (АИС). Одной из причин такого положения является недостаточно целостное формирование системной управленческой методологии лиц, использующих АИС.

АИС, являясь основным инструментом повышения обоснованности управленческих решений, представляют собой сложные программно-аппаратные и телекоммуникационные комплексы, выступающие в качестве самостоятельного объекта исследований. Такие системы предназначены для сбора, хранения, обработки и распространения информации в целях управления, получившие наименование MIS (Management Information Systems) – информационно-управляющие системы, основу которых составляют программные системы поддержки принятия решений (СППР).

Теоретической основой СППР является теория принятия решений, предметом изучения которых является настоящее учебное пособие.

Основой изложенного материала является учебное пособие «Системный анализ в управлении», допущенное Министерством образования и науки Российской Федерации для студентов ВУЗов, обучающихся по компьютерным специальностям. Материал доработан в процессе многолетнего преподавания дисциплины «Теория принятия решений» на кафедре программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет».

Пособие включает три части. В первой части изложены основы системного анализа, как наиболее конструктивного направления практического приложения теории систем к задачам управления. Раздел дополнен результатами исследований авторов проблем построения систем поддержки принятия решений для автоматизированных систем.

Вторая часть учебного пособия посвящена методу исследования операций – научного направления кибернетики, связанного с **количественным обоснованием решений** в различных областях целенаправленной деятельности. Материал изложен на основе учебного издания Е.С. Венцель «Исследование операций». Особое внимание уделено количественному оцениванию альтернатив принимаемых решений в автоматизированных системах.

В третьей части пособия изложены основы построения организационно-технических систем управления, к классу которых относятся автоматизированные системы.

Часть 1 Основы системного анализа

Глава 1 Роль и место теории принятия решений в структуре подготовки специалиста

Специалист в области программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем обеспечивает разработку и сопровождение автоматизированных информационных систем (АИС), в основе которых лежат базы данных и аналитические приложения.

Проектный раздел ВКР должен подтвердить квалификацию выпускника, как разработчика корпоративных АИС. Как правило, в качестве аналитического приложения разрабатывается система (средства) поддержки принятия решений (СППР), концептуальной основой которых является теория принятия решений.

§ 1 Концептуальные основы теории принятия решений

Общие свойства управления исследуются в **кибернетике** – науки об общих закономерностях процессов управления, связи и переработке информации в различных системах. Проблемы управления техническими системами без участия человека – в теории автоматического управления (ТАУ). Особенности управления в социально-экономических системах изучаются в рамках менеджмента, управление на основе АИС, относящихся к классу организационно-технических – автоматизированных систем управления (АСУ) – науки о принципах и методах управления различными системами, процессами и объектами с участием человека в контуре управления.



Рисунок 1.1 – Теоретические основы систем с управлением

Во всех этих областях требуется знание общих законов функционирования систем, которые изучаются в рамках **общей теории систем**, включающей несколько научных направлений: оценивание сложных систем, синтез систем с управлением, теорию принятия решений и т.д.

Теория принятия решений – изучает закономерности выбора людьми путей решения разного рода задач, а также исследует способы поиска наиболее выгодных из возможных альтернатив.

Методы теории принятия решений составляют основу двух научных направлений: системный анализ и исследования операций.



Рисунок 1.2 – Теоретические основы принятия решений

Системный анализ понимается как совокупность методов, основанных на использовании компьютерных технологий для исследования сложных систем – технических, программных, экономических и т.д.

Исследование операций трактуется как дисциплина, занимающаяся количественным обоснованием решений в различных областях целенаправленной деятельности.

Поэтому **теория принятия решений** – это дисциплина, занимающаяся задачами выбора в условиях, когда альтернативы требуют количественной

оценки на основе информации, характеризующей реальную ситуацию в системах с управлением.

Обобщенная схема систем с управлением (СУ) изображена на рисунке 1.3.

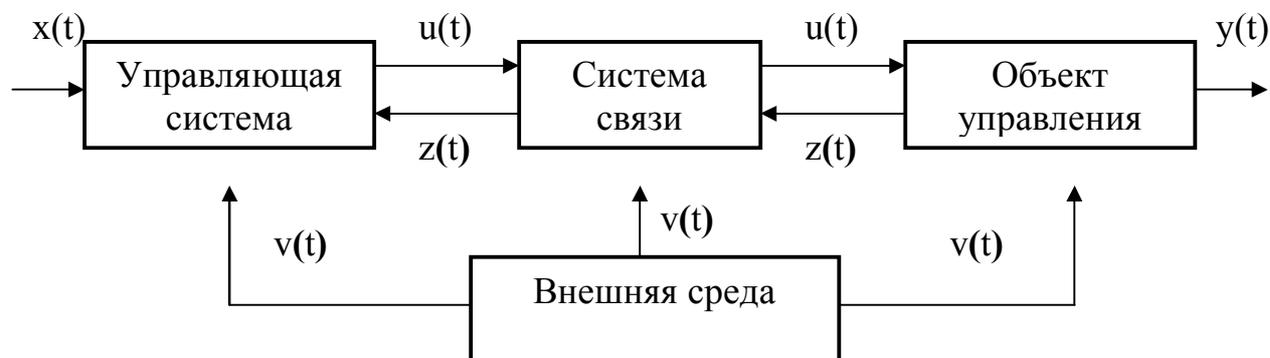


Рисунок 1.3 – Обобщенная схема систем с управлением

Источником информации является объект управления (ОУ), посылающий по каналу обратной связи информацию $z(t)$ о своем состоянии $y(t)$, и задающее воздействие $x(t)$, характеризующее цель управления. Управляющая система (УС) в зависимости от количества и содержания информации по алгоритму, определенному целью управления, вырабатывает решение о воздействии на объект управления. Это решение в виде команд или сигналов управления $u(t)$ по каналу прямой связи передается на ОУ. После выполнения команд ОУ посылает на УС по каналу обратной связи информацию об изменении своего состояния. Таким образом, замыкается цикл обмена информацией в СУ или цикл управления, который завершается, когда состояние объекта управления соответствует требуемому. В реально функционирующих СУ на все элементы воздействует среда, внося свои коррективы, как в количество информации, так и в качество управления.

Исторически функцию УС выполнял человек. Иначе говоря, СУ была совмещена с ОУ. С усложнением задач управления проявился **первый информационный барьер**, определяемый пропускной способностью отдельного человека как системы управления (2-4 бит/с). Барьер был преодолен путем отделения функций СУ от функций ОУ и перехода к иерархическому принципу

управления. В соответствии с этим принципом СУ включает лицо, принимающее решение (ЛПР), и группу средств управляющей системы.

С течением времени (1970-80 гг.) органы управления столкнулись со **вторым информационным барьером** (по определению академика В.М. Глушкова), когда суммарная сложность задач по управлению ОУ, состоящего из i человек и j средств, стала выше способности СУ по переработке информации.

Для преодоления второго информационного барьера предложен принципиально другой путь – автоматизация всех информационных процессов. Объектом автоматизации являются функции, задачи и процессы, происходящие в системах управления. Одна из таких функций – поддержка принятия управленческих решений ЛПР.

Облик современной АСУ представлен на рисунке 1.4.

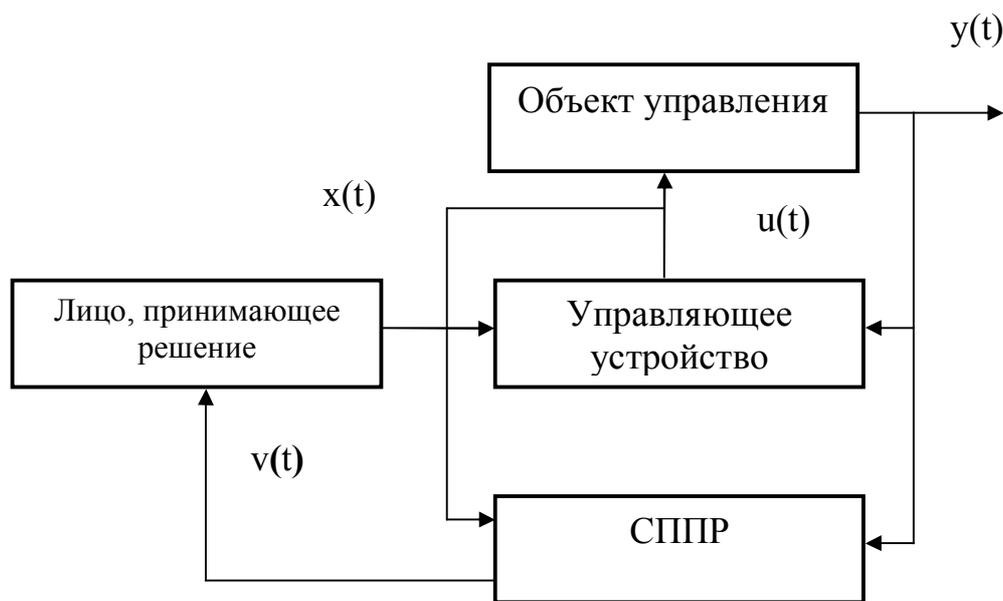


Рисунок 1.4 – Современная АСУ

СППР (англ. Decision Support System, DSS) — компьютерная автоматизированная система, целью которой является помощь лицам, принимающим решение в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности.

Для анализа и выработок предложений в СППР используются различные

методы: информационный поиск, интеллектуальный анализ данных, поиск знаний в базах данных, рассуждение на основе прецедентов, имитационное моделирование, эволюционные вычисления и генетические алгоритмы, нейронные сети, ситуационный анализ, когнитивное моделирование и др.

АСУ с СППР, являясь основным инструментом **повышения оперативности и обоснованности управленческих решений**, представляют собой сложные программно-аппаратные и телекоммуникационные комплексы, которые выступают в качестве самостоятельного объекта исследований. Вопросы архитектуры таких систем и организации управления информационным процессом представляют одно из главных направлений рассматриваемой области знаний.

СППР призвана помочь ЛПР в решении информационных, логических и расчетных задач. Теоретические основы информационного, лингвистического, математического, программного и других видов обеспечения распределенной обработки информации, построения баз данных, баз знаний, аналитических и других систем определяют потенциальные возможности и ограничения АИС в целом.

Для сложных систем, с которыми относится АИС, применение классического экспериментального метода исследования ограничено его высокой стоимостью, а в ряде случаев (экология, макроэкономика, безопасность и др.) натурные эксперименты становятся либо вовсе невозможными, либо, по крайней мере, рискованными. Поэтому в качестве основного метода исследования сложных систем используют **метод машинного эксперимента** – универсальный метод познания, основанный на использовании программных имитационных моделей. Проблемы разработки имитационных моделей являются предметом изучения теории принятия решений.

Таким образом, методы ТПР – это «мост» между теорией и практикой построения прикладных корпоративных АИС, функционирующих в системах с управлением.

§ 2 Цели изучения и структура курса теории принятия решения

Целью курса теории принятия решения является изучение системного анализа и исследования операций, овладение современными методами и моделями теории принятия решений для разработки программных средств поддержки принятия решений в автоматизированных системах.

В результате изучения дисциплины студент должен:

иметь представление:

- об основных проблемах систем автоматизации организационно-технического управления, причинах их возникновения и способах разрешения;
- о современном состоянии научных знаний в теории принятия решений, перспективах и направлении их развития.

знать:

- объекты, предметы, цели и задачи теории принятия решений;
- понятия, определения и термины исследования операций;
- системный анализ: задачи, принципы, методология;
- основы оценивания сложных систем: шкалирование, показатели и критерии оценивания, методы качественного и количественного оценивания;
- системы автоматизированного управления, их элементы, модели основных функций организационно-технического управления, оценка качества управления.

уметь: изложены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Умения

Деятельность	Предмет
Формулировать	цели системного анализа, критерии качества и эффективности систем с управлением
Выбирать	методы, методики и алгоритмы качественного и количественного оценивания систем
Использовать	математический инструментарий и прикладные программы для оценивания компьютерных систем

Продолжение таблицы 1.1

Деятельность	Предмет
Моделировать	основные функции организационно-технического управления: общую задачу принятия решений, функции контроля, прогнозирования и оперативного управления
Разрабатывать	программные средства поддержки принятия решений в системах организационно-технического управления

Теория принятия решений относится к дисциплинам для освоения курса «Основ теории принятия решения» используются знания следующих ранее изученных дисциплин: алгебра и геометрия, математический анализ, теория вероятности, математическая статистики и случайные процессы, программирование на языке высокого уровня, вычислительная математика.

Теория принятия решений является методологической основой разработки приложений автоматизированных информационных систем, при выполнении курсовых и расчетно-графических работ, а так же дипломном проектировании.

Литература рекомендуемая для изучения дисциплины:

Основная:

1 Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении./ В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А Кукушкин – М.: Финансы и статистика, 2006. - 368с.

2 Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология./ Е.С. Вентцель: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2010. – 208 с.

Дополнительная:

1 Черноруцкий, И.Г. Методы принятия решений./ И.Г. Черноруцкий – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.: ил.

2 Ногин, В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход/ В. Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2002. – 176 с.

3 Системный анализ и принятие решений: словарь-справочник / под общ. ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высшая школа, 2004. – 616 с. : ил.

Таким образом, структура содержания курса «Основы систем поддержки

принятия решений» позволяет сформировать знания умения навыки для обеспечения компетенций по программам высшего профессионального образования направления 230100 «Информатика и вычислительная техника», 231000 «Программная инженерия».

§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 Какие научные направления составляют теоретические основы систем с управлением ?
- 2 В чем сущность автоматизированного управления?
- 3 Для чего используют системный анализ? Почему его называют методологической основой исследований?
- 4 Какова цель и какие изучения дисциплины?
- 5 Контрольные мероприятия курса.

Глава 2 Сущность автоматизации управления

Практическая потребность общества в научных основах принятия решений возникла с развитием науки и техники только в XVIII веке. Началом науки «Теория принятия решений» следует считать работу Жозефа Луи Лагранжа, смысл которой заключался в следующем: сколько земли должен брать на лопату землекоп, чтобы его сменная производительность была наибольшей. Оказалось, что утверждение «бери больше, кидай дальше» неверен.

Человек наделён сознанием, существо свободное и обречено на выбор решений, стараясь сделать всё наилучшим образом. В наиболее общем смысле теория принятия решений представляет собой совокупность математических и численных методов, ориентированных на нахождение наилучших вариантов из множества альтернатив и позволяющих избежать их полного перебора. Ввиду того, что размерность практических задач, как правило, достаточно велика, а расчеты в соответствии с алгоритмами требуют значительных затрат времени,

возникла необходимость упорядочения этих задач.

§ 1 Обобщенный цикл управления

Под **управлением** понимают процесс целенаправленного изменения поведения объекта управления (ОУ) посредством информационных воздействий, вырабатываемых человеком или устройством автоматизации.

К задачам управления (рисунок 2.1) относятся:

- целеполагание (определение требуемого состояния или поведения ОУ);
- стабилизация (удержание системы в существующем состоянии в условиях варьирующих воздействий);
- выполнение программы (перевод системы в требуемое состояние)
- слежение – обеспечение требуемого управления (удержание системы на заданной траектории) в условиях, когда законы изменения управляемых величин неизвестны или изменяются;
- оптимизация – удержание или перевод системы в состояние с экстремальными значениями характеристик при заданных ограничениях.

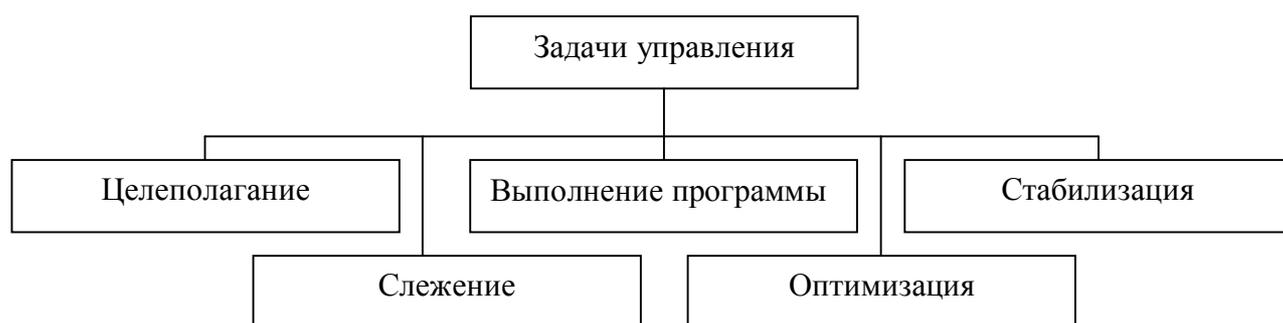


Рисунок 2.1 – Задачи управления

Исторически задачи управления реализует **лицо, принимающее решение** (ЛПР) – индивидуум или группа индивидуумов, имеющих право принимать

окончательное решение по выбору управляющих воздействий.

При реализации процессов в системах с управлением должны выполняться группы функций, представленные на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Функции при формировании управляющих воздействий

Функции **обработки информации** охватывают учет, контроль, хранение, поиск, отображение, тиражирование, преобразование формы информации. Эта группа функций не изменяет смысл информации, то есть это рутинные функции, не связанные с содержательной обработкой информации.

Функции **принятия решений** выражаются в создании новой информации в ходе анализа, прогнозирования (планирования) и оперативного управления (регулирования, координации действий). Это связано с преобразованием содержания информации о состоянии ОУ и внешней среды в управляющую информацию при решении логических задач и выполнении аналитических расчетов, проводимых ЛПР при порождении и выборе альтернатив. Эта группа функций является главной, поскольку обеспечивает выработку информационных воздействий по удержанию в существующем положении или при переводе системы в новое состояние. Без автоматизации этой функции информационная система не может считаться полноценной.

Группа **функций обмена** связана с доведением выработанных воздействий до ОУ и обменом информацией с ЛПР (ограничение доступа, получение или сбор, передача информации по управлению в текстовой, графической, табличной или иных формах, по телефону, системе передачи данных сети).

Совокупность функций управления, выполняемых в системе при изменении среды, принято называть **циклом управления**. Выполняя цикл за циклом, система приближается к сформулированной цели. Цикл управления можно представить в виде, изображенном на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Обобщенный цикл управления

В качестве источника командной информации может выступать старшая

система управления (СУ) или ЛПР. Командная информация характеризует цель управления, выявляемая в блоке целеполагания.

При этом от ОУ в старшую СУ поступает информация о текущем состоянии ОУ. ЛПР контролирует ее истинность, анализирует в целях выявления отклонения от требуемого состояния, и определяет необходимость изменения текущего состояния.

По результатам системного анализа информационных процессов предметной области осуществляется выбор одной из основных задач управления – изменить состояние ОУ или удержать ОУ в заданном состоянии.

Уточнение задач происходит в процессе прогнозирования или оперативного управления.

Информация состояния ОУ и внешней среды направляется в старший орган управления или ЛПР.

Таким образом, для типовой структуры АСУ определен обобщенный цикл управления.

§ 2 Содержание процессов автоматизации управления

До недавнего времени технические средства применялись человеком для того, чтобы облегчить физический труд. Это направление применения технических средств известно как энергетическое, а сам процесс создания и внедрения механизмов, обеспечивающий повышения эффективности труда человека, называется **механизацией**.

По мере использования человеком все более мощных источников энергии значение его собственной мышечной силы понижалось, а значение интеллектуального труда, содержанием которого является преобразование информации, возрастало. Это привело к тому, что теперь ощущается необходимость в увеличении интеллектуальной мощи человека. Появления вычислительной техники (ВТ) положило начало кибернетическому применению технических средств. Автоматизация явилась закономерным продолжением механизации.

Если **механизация** охватывает процессы получения, передачи, преобразования и использования энергии, то **автоматизация** – процессы получения, передачи, преобразования и использования информации. Говоря образно, если механизмы выступают продолжением человеческой руки, то вычислительная техника – продолжение мозга.

При управлении ЛПР выполняет сложную последовательность функции из множества $\langle f_{np} \rangle$, $\langle f_s \rangle$, $\langle f_o \rangle$. Каждая из них может быть представлена рядом процессов.

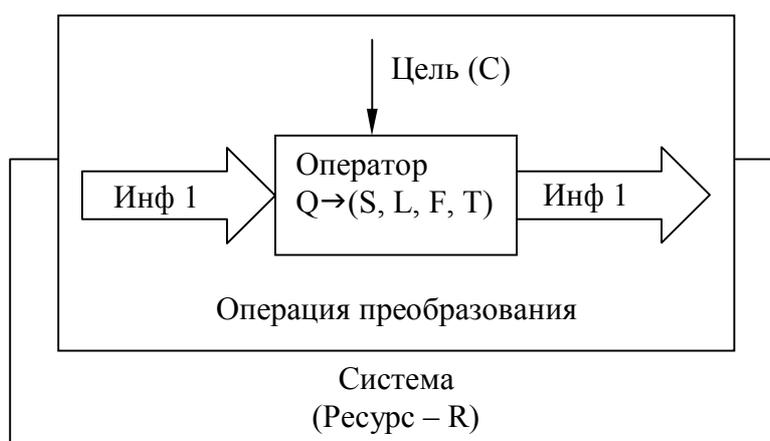


Рисунок 2.4 – Элемент информационного процесса

Процесс управления, как процесс выработки управляющих воздействий, является информационным процессом (ИП).

При этом осуществляются следующие виды преобразования информации:

- содержательное (семантическая обработка);
- преобразование формы (кодирование, декодирование);
- преобразование в пространстве и времени (передача, хранение).

Элементарным действием в ИП является операция преобразования информации, представленная на рисунке 2.4.

Любая информационная единица ИП (I), обладающая потребительской стоимостью (качеством) I и характеризуется содержанием (S), форматом (F), пространственным расположением (L) и временем (T). Отсюда можно записать

множество вида

$$I = \langle S, F, L, T \rangle.$$

Каждая из этих характеристик в процессе преобразования информации может изменяться. Основные атрибуты операции: информация (объект преобразования); оператор (субъект преобразования); цель (требования к преобразованию)

Операции по преобразованию информации могут быть разных типов (V), которые определяются оператором Q , при этом сложность (U), зависит от типа преобразования и цели C , т.е. $U = \langle V, C \rangle$, времени ее реализации $T = \langle U, I \rangle$ и ресурсоемкости (R). Очевидно, что все реальные процессы и системы, их реализующие, уникальны.

Специфика функционирования реальных систем проявляется в содержании информации, составе и последовательности применения операторов по ее преобразованию и целей процессов системы управления.

Любой ИП в системе управления структурно можно представить как некоторую совокупность задач:

- сбор, прием, получение, восприятие информации;
- передача информации между отдельными подсистемами СУ;
- обработка, анализ, отбор информации, создание новой информации;
- использование информации;
- хранение информации.

Несмотря на многообразие ИП, протекающих в СУ, с точки зрения технологии обработки информации они имеют много общего. Это позволяет представить обобщенную схему обработки информации (см. рисунок 2.5).

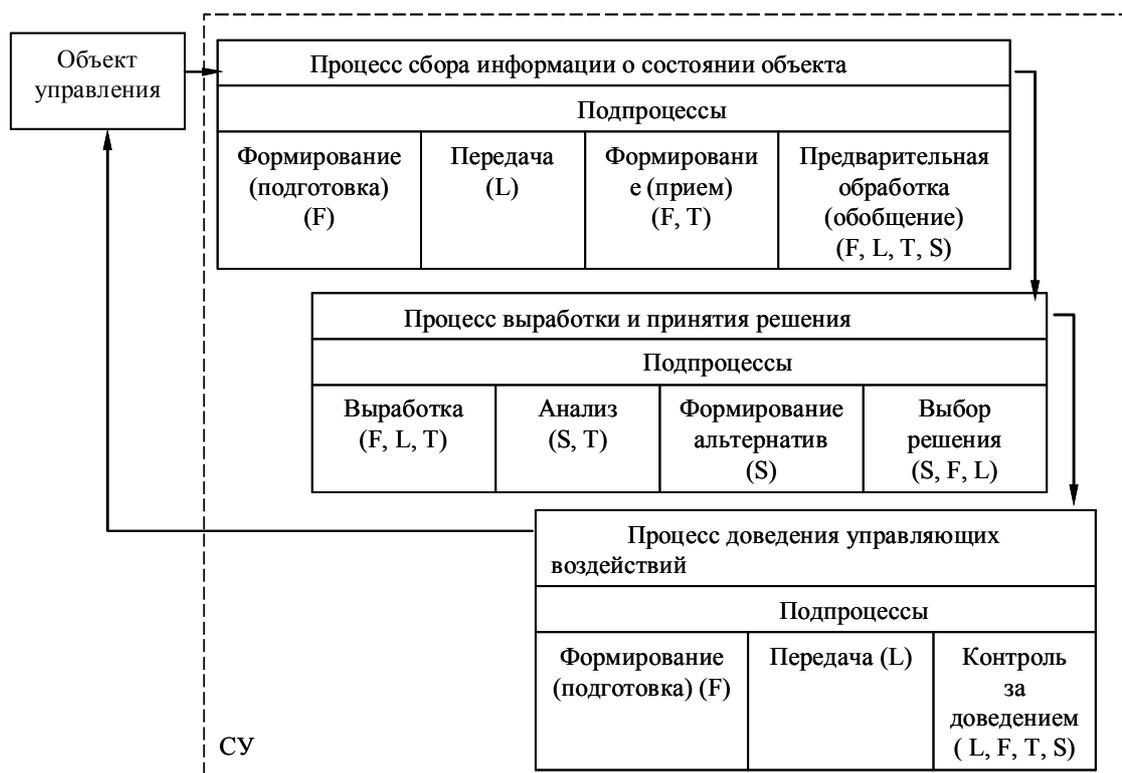


Рисунок 2.5 – Структура информационных процессов в АСУ

Обобщенной целью автоматизации управления является повышение эффективности использования потенциальных возможностей объекта управления.

Направления повышения эффективности ОУ за счет автоматизации информационных процессов.

1 Повышение оперативности управления за счет автоматизации сбора, поиска, предварительной обработки и передачи информации, засекречивания и рассекречивания информации, проведения расчетов, формирование и размножение документов.

2 Снижение затрат ЛПР на выполнение вспомогательных процессов. Относительное распределение трудозатрат между процессами: информационные процессы – 65 – 70 %, расчеты – 20 – 25 %, творчество – 5 – 15 %.

3 Повышение степени обоснованности принимаемых решений. Процесс принятия решений строится на основе анализа и прогноза развития ситуации с

применением математического аппарата моделирования.

Таким образом, автоматизация информационных процессов в системах с управлением составляет необходимым условием повышение эффективности использования возможностей объекта управления.

§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 Дать определение понятия управления.
- 2 Перечислить задачи управления.
- 3 Работа системы управления по блок-схеме.
- 4 Какие права имеет ЛПР?
- 5 В чем заключается функция принятия решений?
- 6 Какой процесс называется механизацией?
- 7 Какой процесс называется автоматизацией?
- 8 Какими характеристиками обладает информационный процесс?
- 9 Перечислить основные виды преобразования информации.
- 10 Направление повышения эффективности объекта управления за счет автоматизации информационных процессов.
- 11 Множеством какого вида можно описать информационную единицу?

Глава 3 Введение в теорию систем

В процессе создания автоматизированных систем (АС), в том числе и информационных (АИС) необходимо полно и объективно представить объект автоматизации. Это значит необходимо описать его внутреннюю структуру, объясняющую причинно-следственные законы функционирования, что позволит предсказать, а значит управлять его поведением.

Принятие решений в АИС осуществляется на основе общих закономерностей функционирования и свойствах систем с управлением, являющихся предметом изучения системного анализа.

§ 1 Концепция систем

Под **системой** в общем случае понимают совокупность элементов и связей между ними, обладающих определенной целостностью.

На рисунке 3.1 обобщены основные понятия теории систем.

Элемент – некоторый неделимый объект (материальный, энергетический, информационный), обладающий рядом свойств и реализующий в системе определенный закон функционирования.

Множество элементов A системы S можно описать в виде:

$$A_S = \{a_i\}, I = 1 \dots n,$$

где a_i – i -ый элемент системы;

n - число элементов в системе.

Входы системы x_i – это различные точки приложения влияния (воздействия) на элемент (систему). Как правило, представимо виде вектора $X = (x_1, \dots, x_r)$.

Выходы y_j представляют собой результат преобразования входной информации.

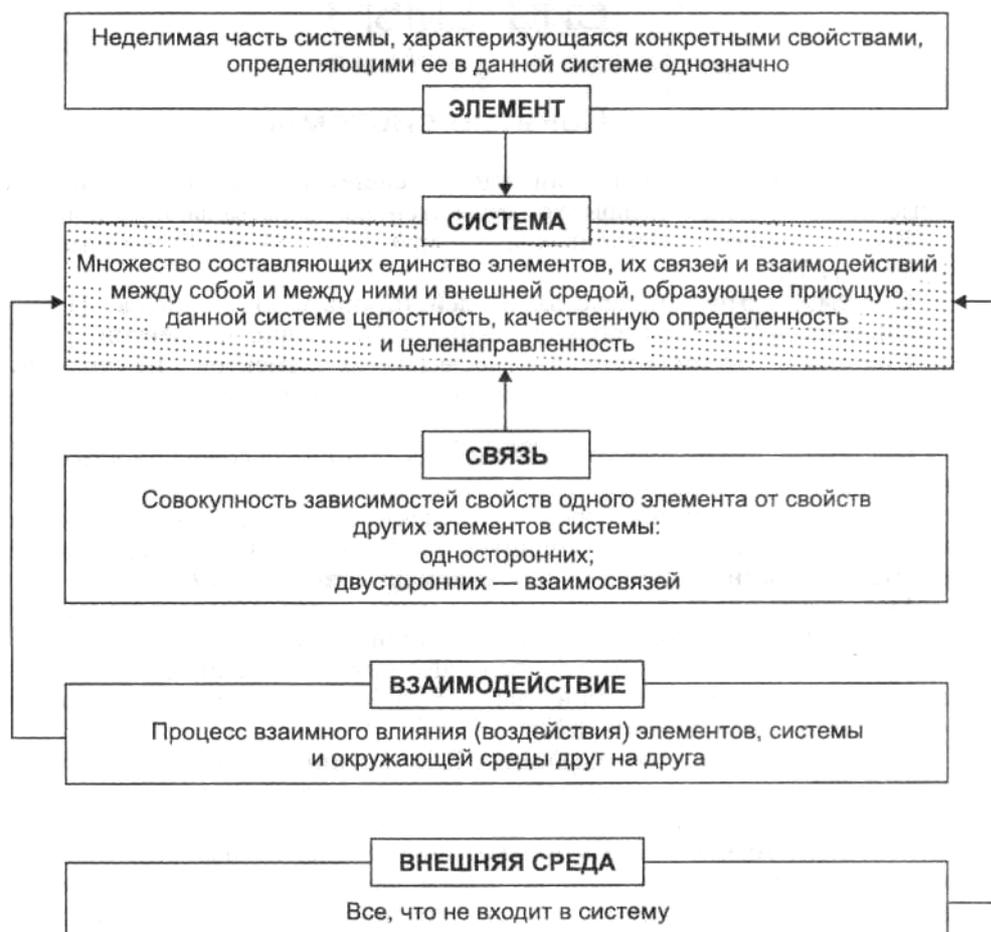


Рисунок 3.1 – Основные понятия теории систем

Каждый элемент характеризуется m конкретными свойствами k_{i1}, \dots, k_{im} (вес, температура), которые определяют его в данной системе однозначно.

Под **свойством** понимают величину, обуславливающую сходство или отличие элементов (объектов) и проявляющуюся при взаимодействии с другими объектами.

Совокупность всех m свойств называется состоянием элемента z_{i1}, \dots, z_{im} .

Система может иметь обратную связь, которая используется для контроля за изменением состояния системы (выходных величин $Y(t)$).



На рисунке 3.2 показана обобщенная схема системы (элемента).

Рисунок 3.2 – Блок-схема системы (элемента)

Отсюда систему можно описать зависимостями вида

$$Z(t) = F_z [X(t), z(t-1), z(t-2), \dots, t], \quad (3.1)$$

$$Y(t) = F_y [X(t), Z(t)]. \quad (3.2)$$

Соотношение (3.1,3.2) называют уравнением наблюдения и уравнением состояния системы соответственно.

Классификация систем представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Классификация систем

Признаки	Классы
Природа элементов	Физические Абстрактные
происхождение	Естественные Искусственные
Степень сложности	Простые Сложные Большие
Изменчивость свойств	Статические Динамические

Продолжение таблицы 3.1

Признаки	Классы
Характер поведения	С управлением Без управления
По наличию случайной функции	Детерминированные Стохастические
В зависимости от типа X, Y, Z	Непрерывные Дискретные
По взаимодействию с внешней средой	Открытые Закрытые

Деление систем на физические и абстрактные позволяет различать реальные системы и системы, являющиеся моделями реальных. Для реальных может быть построено множество систем-моделей, различающихся по цели моделирования и по требуемой степени детализации. Например, реальная ЛВС для программиста – совокупность программного, математического и информационного обеспечения, для электроника, совокупность технических средств, их исправное или неисправное состояние, для хакера – совокупность объектов, подлежащих разведке, подавлению, уничтожению.

Сложные системы отличаются от простых наличием трех основных признаков: робастность, наличием неоднородных связей и эмерджентностью.

Робастность – способность сохранять частичную работоспособность при отказе отдельных элементов.

В сложных системах кроме значительного количества элементов имеют место различные по **типу связи** – структурные, функциональные, информационные, пространственно- временные.

Эмерджентность (целостность) – свойство системы, которое принципиально не сводится к сумме свойств её элементов.

Понятие открытости систем конкретизируется для каждой предметной области. В области информационных систем открытыми называются про-

граммно-аппаратные комплексы, которым присущи следующие свойства:

- **мобильность** (программный комплекс (ПК) переносим на различные аппаратные платформы и в различные операционные системы);
- **стандартность** (ПК соответствует определенному стандарту независимо от конкретного разработчика);
- **наращиваемость** (ПК обеспечивает включение новых программных и аппаратных средств независимо от конкретного разработчика);
- **совместимость** (ПК имеет возможность взаимодействовать с другими комплексами на основе развитых интерфейсов с прикладными задачами в других системах).

В отличие от открытых замкнутые системы изолированы от среды – не оставляют свободными входных компонентов ни у одного из своих элементов. Пример – сети для обработки конфиденциальной информации.

Таким образом, рассмотренные понятия теории систем позволяют перейти к одному из основных разделов теории принятия решений – системному анализу.

§ 2 Основные понятия теории систем

Системный анализ (СА) – это методология решения проблем, основанная на структуризации систем и количественном сравнении альтернатив.

В СА используется математический аппарат общей теории систем, а также качественные и количественные методы математической логики, теории эффективности, теоретической информатики, структурной лингвистики, теории множеств, методов искусственного интеллекта, методов моделирования.

Применение СА в теории принятия решений дает возможность выделить перечень и указать методику выполнения взаимосвязанных задач, позволяющих не упустить важные связи и свойства объекта автоматизации.

Основными задачами системного анализа являются:

- **задача декомпозиции** – представление систем из подсистем, состоя-

щих из элементов;

- **задача анализа** – определение свойств систем или окружающей среды (определение закона преобразования информации, описывающего поведение системы);

- **задача синтеза** – по описанию закона преобразования информации построить систему.

В рамках каждой задачи выполняются частные процедуры.

Декомпозиция, как правило, включает две процедуры – наблюдение и измерение.

В задачах анализа и синтеза выделяются процедуры оценки свойств и алгоритмов, реализующих заданный закон преобразования информации.

Таким образом, в основе системного анализа как науки лежат определенные понятия и принципы проведения анализа систем.

Система декомпозируется на элементы не сразу, а последовательным разделением на подсистемы. **Подсистема** – это часть системы, выделенная по определенному признаку, обладающая некоторой самостоятельностью и допускающая разложение на элементы.

Последовательная декомпозиция системы в глубину приводит к иерархии подсистем, нижним уровнем которой является элемент. Примером декомпозиции является структура программы на языке Паскаль (тело основной программы включает модули – подсистемы первого уровня, модули включают функции и процедуры – подсистемы второго уровня, процедуры включают операторов – элементы системы).

Свойства объекта (системы, элемента) отражаются **характеристиками h** и представляются в виде закона функционирования.

Характеристики делятся на количественные и качественные в зависимости от типа отношений на множестве их значений.

Если на множестве значений заданы метризованные отношения с указанием степени количественного превосходства, то характеристика является количественной. Пример, размер экрана по диагонали (см.) и максимальное раз-

решение (пиксели) являются количественными характеристиками мониторов.

Если пространство значений не метрическое, то такая характеристика называется качественной. Например, такая характеристика монитора, как комфортность разрешения, хотя и измеряется в пикселях, является качественной (мерцание, резкость).

Характеристики элемента являются зависимыми переменными и отражают свойства элемента. одна из основных целей системного анализа – выявление внутренних свойств системы, определяющих её поведение.

Формально свойства представляются в виде закона функционирования.

Законом функционирования называется зависимость

$$y(t) = F_s(x, v, u, t), \quad (3.3)$$

где x – входное (полезное) воздействие;

v – внешнее (вредное) воздействие среды;

u – управляющее воздействие на объект управления;

t – текущее время.

Оператор F_s отражает поведение элемента (системы), оцениваемый по степени достижения цели его функционирования.

Цель – ситуация или область ситуаций, которая должна быть достигнута при функционировании системы за определенный промежуток времени.

Закон функционирования отражает цель системы управления. Цель задается требованиями к показателям результативности, ресурсоемкости и оперативности функционирования системы. Цель для системы определяется старшей системой, в которой рассматриваемая система является элементом.

Показатель – характеристика, отражающая качество или целевую направленность системы.

$$Y_j(t) = K_j(v, x, u). \quad (3.4)$$

Показатели подразделяются на частные y_i^j , которые отражают i – ые существенные свойства j – ой системы и обобщенные Y^j – вектор, отражающий совокупность (множество) свойств системы в целом.

Важным для описания систем является понятие **алгоритма** функционирования, под которым понимается метод получения выходных характеристик $y(t)$ с учетом входных воздействий $x(t)$ и воздействий внешней среды $v(t)$.

По сути, алгоритм раскрывает механизм проявления внутренних свойств системы, определяющих её поведение в соответствии с законом функционирования. Один и тот же закон функционирования может быть реализован различными алгоритмами.

Наличие нескольких алгоритмов достижения поставленной цели для системы с одним и тем же законом функционирования приводит к необходимости оценки систем по качеству и эффективности.

Качество – совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению.

Эффективность – степень приспособленности системы к достижению цели. Эффективность отражает процесс.

Процессом называют совокупность состояний $z(t)$ системы, упорядоченных по значению какого-либо параметра, определяющего свойства системы $y(t)$.

Критерий эффективности – обобщенный показатель и правило выбора лучшей системы.

Таким образом, использование указанных понятий позволит проводить системный анализ конкретной предметной области.

§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 Системой называется?
- 2 Какими зависимостями можно описать закон функционирования?

- 3 Что такое робастность?
- 4 Какие свойства присущи таким комплексам?
- 5 Перечислите основные задачи системного анализа?
- 6 В чем суть алгоритма функционирования системы?
- 7 Что отражают характеристики?
- 8 Что определяет совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению?
- 9 Что определяет степень приспособленности системы к достижению цели?
- 10 Как описать информационный процесс?

Глава 4 Принципы и структура системного анализа

Системный анализ применяется в тех случаях, когда у исследователя нет достаточных сведений о системе, которые позволили бы формализовать процесс ее исследования, включающий постановку и решение возникшей проблемы. Специфической особенностью методики системного анализа является то, что она должна опираться на понятие системы и использовать закономерности построения, функционирования и развития систем.

Общим для всех методик системного анализа является определение закона функционирования системы, формирование вариантов структуры системы (нескольких альтернативных алгоритмов, реализующих заданный закон функционирования) и выбор наилучшего варианта, осуществляемого путем решения задач декомпозиции, анализа исследуемой системы и синтеза системы, снимающей проблему практики. Основой построения методики анализа и синтеза систем в конкретных условиях является соблюдение принципов системного анализа.

§ 1 Принципы системного анализа

Принципы системного анализа - это некоторые положения, являющиеся обобщением опыта работы человека со сложными системами. Различные авто-

ры излагают принципы с определенными отличиями, поскольку общепринятых формулировок на настоящее время нет. Однако, так или иначе, все формулировки описывают одни и те же понятия.

Наиболее часто к системным причисляют следующие принципы: принцип конечной цели, принцип измерения, принцип устойчивости, принцип единства, принцип связности, принцип модульного построения, принцип иерархии, принцип функциональности, принцип развития (историчности, открытости), принцип децентрализации, принцип неопределенности.

1 Принцип конечной цели. Это абсолютный приоритет конечной (глобальной) цели. Принцип имеет несколько правил:

- для проведения системного анализа необходимо в первую очередь сформулировать цель исследования. Расплывчатые, не полностью определенные цели влекут за собой неверные выводы;

- цель функционирования искусственной системы задается, как правило, системой, в которой исследуемая система является составной частью, что позволит определить ее основные существенные свойства, показатели качества и критерии оценки;

- при синтезе систем любая попытка изменения или совершенствования системы должна оцениваться относительно того, помогает или мешает она достижению конечной цели.

2 Принцип измерения. О качестве функционирования какой-либо системы можно судить только применительно к системе более высокого порядка. Другими словами, для определения эффективности функционирования системы надо представить ее как часть более общей и проводить оценку внешних свойств исследуемой системы относительно целей и задач суперсистемы.

3 Принцип устойчивости (эквивинальности). Система может достигнуть требуемого конечного состояния, не зависящего от времени и определяемого исключительно собственными характеристиками системы при различных начальных условиях и различными путями. Это форма устойчивости по отношению к начальным и граничным условиям.

4 Принцип единства. Это совместное рассмотрение системы как целого и как совокупности частей (элементов). Принцип ориентирован на декомпозицию с сохранением целостных представлений о системе.

5 Принцип связности. Рассмотрение любой части совместно с ее окружением подразумевает проведение процедуры выявления связей между элементами системы и выявление связей с внешней средой (учет внешней среды). В соответствии с этим принципом систему в первую очередь следует рассматривать как часть (элемент, подсистему) другой системы, называемой суперсистемой или старшей системой.

6 Принцип модульного построения. Полезно выделение модулей в системе и рассмотрение ее как совокупности модулей. Принцип указывает на возможность вместо части системы исследовать совокупность ее входных и выходных воздействий (абстрагирование от излишней детализации).

7 Принцип иерархии. Полезно введение иерархии частей и их ранжирование, что упрощает разработку системы и устанавливает порядок рассмотрения частей.

8 Принцип функциональности. Это совместное рассмотрение структуры и функции с приоритетом функции над структурой. Принцип утверждает, что любая структура тесно связана с функцией системы и ее частей. В случае придания системе новых функций полезно пересматривать ее структуру, а не пытаться втиснуть новую функцию в старую схему. Поскольку выполняемые функции составляют процессы, то целесообразно рассматривать отдельно процессы, функции, структуры. В свою очередь, процессы сводятся к анализу потоков различных видов: материальный поток; поток энергии; поток информации; смена состояний. С этой точки зрения структура есть множество ограничений на потоки в пространстве и во времени.

9 Принцип развития. Это учет изменяемости системы, ее способности к развитию, адаптации, расширению, замене частей, накоплению информации. В *основу синтезируемой* системы требуется закладывать возможность развития, наращивания, усовершенствования. Обычно расширение функций предусмат-

ривается за счет обеспечения возможности включения новых модулей, совместимых с уже имеющимися. С другой стороны, *при анализе* принцип развития ориентирует на необходимость учета предыстории развития системы и тенденций, имеющих в настоящее время, для вскрытия закономерностей ее функционирования.

Одним из способов учета этого принципа разработчиками является рассмотрение системы относительно ее жизненного цикла. *Условными фазами жизненного цикла ИС являются проектирование, изготовление, ввод в эксплуатацию, эксплуатация, наращивание возможностей (модернизация), вывод из эксплуатации (замена), уничтожение.*

Отдельные авторы этот принцип называют принципом изменения (историчности) или открытости. Для того чтобы система функционировала, она должна изменяться, взаимодействовать со средой.

10 Принцип децентрализации. Это сочетание в сложных системах централизованного и децентрализованного управления, которое, как правило, заключается в том, что *степень централизации должна быть минимальной, обеспечивающей выполнение поставленной цели.*

Недостаток децентрализованного управления - увеличение времени адаптации системы. Он существенно влияет на функционирование системы в быстро меняющихся средах. То, что в централизованных системах можно сделать за короткое время, в децентрализованной системе будет осуществляться весьма медленно. Например, общее время синхронизации (перевода из состояния z_1 в z_2) цепи из N автоматов с n внутренними состояниями, зависящими от состояний соседних автоматов, при централизованном управлении составляет 1 такт, а для взаимодействующих только с непосредственными соседями составляет $\approx 3N$ такта, в зависимости от сложности автоматов.

Недостатком централизованного управления является сложность управления из-за огромного потока информации, подлежащей переработке в старшей системе управления. Поэтому в сложной системе обычно присутствуют два уровня управления. В медленно меняющейся обстановке децентрали-

зованная часть системы успешно справляется с адаптацией поведения системы к среде и с достижением глобальной цели системы за счет оперативного управления, а при резких изменениях среды осуществляется централизованное управление по переводу системы в новое состояние.

11 Принцип неопределенности. Это учет неопределенностей и случайностей в системе. Принцип утверждает, что можно иметь дело с системой, в которой структура, функционирование или внешние воздействия не полностью определены.

Сложные системы не всегда подчиняются вероятностным законам. В таких системах можно оценивать «наихудшие» ситуации и рассмотрение проводить для них. Этот способ обычно называют методом гарантируемого результата. Он применим, когда неопределенность не описывается аппаратом теории вероятностей.

При наличии информации о вероятностных характеристиках случайностей (математическое ожидание, дисперсия и т.д.) можно определять вероятностные характеристики выходов в системе.

Перечисленные принципы обладают высокой степенью общности. Для непосредственного применения исследователь должен наполнить их конкретным содержанием применительно к предмету исследования. Такая интерпретация может привести к обоснованному выводу о незначимости какого-либо принципа. Однако знание и учет принципов позволяют лучше увидеть существенные стороны решаемой проблемы, учесть весь комплекс взаимосвязей, обеспечить системную интеграцию.

§ 2 Структура системного анализа

Технология решения проблем может быть представлен как цикл (рис. 4.1). При этом в процессе функционирования реальной системы выявляется проблема практики как несоответствие существующего положения дел требуемому.

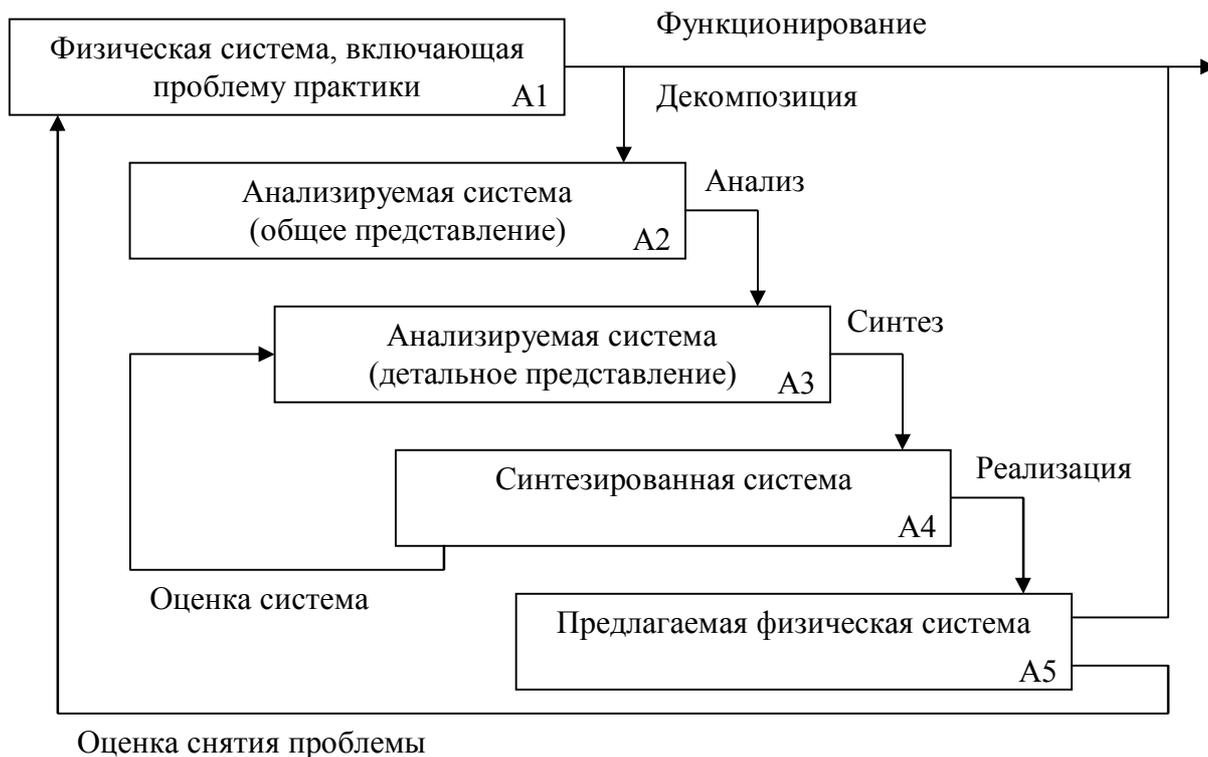


Рисунок 4.1 - Технология решения проблем

Для решения проблемы проводится системное исследование (декомпозиция, анализ и синтез) системы, снимающее проблему. В ходе синтеза осуществляется оценка анализируемой и синтезируемой систем. Реализация синтезированной системы в виде предлагаемой физической системы позволяет провести оценку степени снятия проблемы практики и принять решение на функционирование модернизированной (новой) реальной системы.

При таком представлении становится очевидным еще один аспект определения системы: *система есть средство решения проблем.*

Основные задачи системного анализа могут быть представлены в виде трехуровневого дерева функций (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Дерево функций системного анализа

На этапе *декомпозиции*, обеспечивающем общее представление системы, осуществляются:

1) Определение и декомпозиция общей цели исследования и основной функции системы как ограничение траектории в пространстве состояний системы или в области допустимых ситуаций. Наиболее часто декомпозиция про-

водится путем построения дерева целей и дерева функций;

2) Выделение системы из среды (разделение на систему/«несистему») по критерию участия каждого рассматриваемого элемента в процессе, приводящем к результату на основе рассмотрения системы как составной части суперсистемы;

3) Описание воздействующих факторов;

4) Описание тенденций развития, неопределенностей разного рода;

5) Описание системы как «черного ящика»;

6) Функциональная (по функциям), компонентная (по виду элементов) и структурная (по виду отношений между элементами) декомпозиции системы.

Глубина декомпозиции ограничивается. Декомпозиция должна прекращаться, если необходимо изменить уровень абстракции - представить элемент как подсистему. Если при декомпозиции выясняется, что модель начинает описывать внутренний алгоритм функционирования элемента вместо закона его функционирования в виде «черного ящика», то в этом случае произошло изменение уровня абстракции. Это означает выход за пределы цели исследования системы и, следовательно, вызывает прекращение декомпозиции.

В автоматизированных методиках типичной является декомпозиция модели на глубину 5-6 уровней. На такую глубину декомпозируется обычно одна из подсистем. Функции, которые требуют такого уровня детализации, часто очень важны, и их детальное описание дает ключ к секретам работы всей системы.

В общей теории систем доказано, что большинство систем могут быть декомпозированы на базовые представления подсистем. К ним относят: последовательное (каскадное) соединение элементов, параллельное соединение элементов, соединение с помощью обратной связи.

Проблема проведения декомпозиции состоит в том, что в сложных системах отсутствует однозначное соответствие между законом функционирования подсистем и алгоритмом, его реализующим. Поэтому осуществляется формирование нескольких вариантов (или одного варианта, если система ото-

бражена в виде иерархической структуры) декомпозиции системы.

Рассмотрим некоторые наиболее часто применяемые стратегии декомпозиции.

Функциональная декомпозиция. Декомпозиция базируется на анализе функций системы. При этом ставится вопрос, *что* делает система, независимо от того, *как* она работает. Основанием разбиения на функциональные подсистемы служит общность функций, выполняемых группами элементов.

Декомпозиция по жизненному циклу. Признак выделения подсистем - изменение закона функционирования подсистем на разных этапах цикла существования системы «от рождения до гибели». Рекомендуется применять эту стратегию, когда целью системы является оптимизация процессов и когда можно определить последовательные стадии преобразования входов в выходы.

Декомпозиция по физическому процессу. Признак выделения подсистем - шаги выполнения алгоритма функционирования подсистемы, стадии смены состояний. Хотя эта стратегия полезна при описании существующих процессов, результатом ее часто может стать слишком последовательное описание системы, которое не будет в полной мере учитывать ограничения, диктуемые функциями друг другу. При этом может оказаться скрытой последовательность управления. Применять эту стратегию следует, только если целью модели является описание физического процесса как такового.

Декомпозиция по подсистемам (структурная декомпозиция). Признак выделения подсистем - сильная связь между элементами по одному из типов отношений (связей), существующих в системе (информационных, логических, иерархических, энергетических и т.п.). Силу связи, например, по информации можно оценить коэффициентом информационной взаимосвязи подсистем $k = N / N_0$, где N - количество взаимопользуемых информационных массивов в подсистемах, N_0 - общее количество информационных массивов. Для описания всей системы должна быть построена составная модель, объединяющая все отдельные модели. Рекомендуется использовать разложение на подсистемы, только когда такое разделение на основные части системы не изменяется. Не-

стабильность границ подсистем быстро обесценит как отдельные модели, так и их объединение.

На этапе *анализа*, обеспечивающем формирование детального представления системы, осуществляются:

1) Функционально-структурный анализ существующей системы, позволяющий сформулировать требования к создаваемой системе. Он включает уточнение состава и законов функционирования элементов, алгоритмов функционирования и взаимовлияний подсистем, разделение управляемых и неуправляемых характеристик, задание пространства состояний Z , задание параметрического пространства T , в котором задано поведение системы, анализ целостности системы, формулирование требований к создаваемой системе.

2) Морфологический анализ - анализ взаимосвязи компонентов.

3) Генетический анализ - анализ предыстории, причин развития ситуации, имеющихся тенденций, построение прогнозов.

4) Анализ аналогов.

5) Анализ эффективности (по результативности, ресурсоемкости, оперативности). Он включает выбор шкалы измерения, формирование показателей эффективности, обоснование и формирование критериев эффективности, непосредственно оценивание и анализ полученных оценок.

6) Формирование требований к создаваемой системе, включая выбор критериев оценки и ограничений.

Этап *синтеза* системы, решающей проблему, представлен в виде упрощенной функциональной диаграммы на рис. 4.3.

На этом этапе осуществляются:

1) Разработка модели требуемой системы (выбор математического аппарата, моделирование, оценка модели по критериям адекватности, простоты, соответствия между точностью и сложностью, баланса погрешностей, многовариантности реализаций, блочности построения).

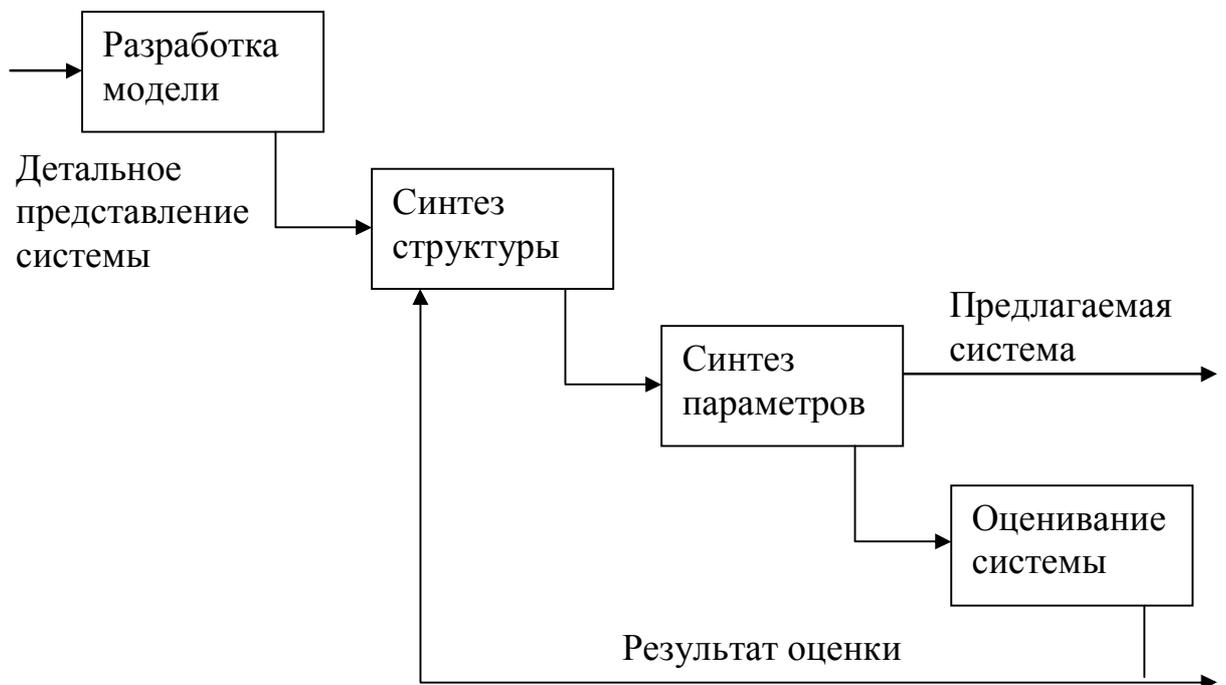


Рисунок 4.3 – Упрощенная диаграмма этапа синтеза системы

- 2) Синтез альтернативных структур системы, снимающей проблему.
- 3) Синтез параметров системы, снимающей проблему.
- 4) Оценивание вариантов синтезированной системы (обоснование схемы оценивания, реализация модели, проведение эксперимента по оценке, обработка результатов оценивания, анализ результатов, выбор наилучшего варианта).

Оценка степени снятия проблемы проводится при завершении системного анализа.

Наиболее сложными в исполнении являются этапы декомпозиции и анализа. Это связано с высокой степенью неопределенности, которую требуется преодолеть в ходе исследования.

Рассмотрим процесс формирования общего и детального представления системы, включающий девять основных стадий.

Формирование общего представления системы:

Стадия 1 . Выявление главных функций (свойств, целей, предназначения) системы. Формирование (выбор) основных предметных понятий, используемых в системе. На этой стадии речь идет об уяснении основных выходов в системе.

Именно с этого лучше всего начинать ее исследование. Должен быть определен тип выхода: материальный, энергетический, информационный, которые должны быть отнесены к каким-либо физическим или другим понятиям (выход производства - продукция (какая?), выход системы управления - командная информация (для чего? в каком виде?), выход автоматизированной информационной системы - сведения (о чем?) и т.д.).

Стадия 2. Выявление основных функций и частей (модулей) в системе. Понимание единства этих частей в рамках системы. На этой стадии происходит первое знакомство с внутренним содержанием системы, выявляется, из каких крупных частей она состоит и какую роль каждая часть играет в системе. Это стадия получения первичных сведений о структуре и характере основных связей. Такие сведения следует представлять и изучать при помощи структурных или объектно-ориентированных методов анализа систем, где, например, выясняется наличие преимущественно последовательного или параллельного характера соединения частей, взаимной или преимущественно односторонней направленности воздействий между частями и т.п. Уже на этой стадии следует обратить внимание на так называемые системообразующие факторы, т.е. на те связи, взаимообусловленности, которые и делают систему системой.

Стадия 3. Выявление основных процессов в системе, их роли, условий осуществления; выявление стадийности, скачков, смен состояний в функционировании; в системах с управлением - выделение основных управляющих факторов. Здесь исследуется динамика важнейших изменений в системе, ход событий, вводятся параметры состояния, рассматриваются факторы, влияющие на эти параметры, обеспечивающие течение процессов, а также условия начала и конца процессов. Определяется, управляемы ли процессы и способствуют ли они осуществлению системой своих главных функций. Для управляемых систем уясняются основные управляющие воздействия, их тип, источник и степень влияния на систему.

Стадия 4. Выявление основных элементов «несистемы», с которыми связана изучаемая система. Выявление характера этих связей. На этой стадии ре-

шается ряд отдельных проблем. Исследуются основные внешние воздействия на систему (входы). Определяются их тип (вещественные, энергетические, информационные), степень влияния на систему, основные характеристики. Фиксируются границы того, что считается системой, определяются элементы «не-системы», на которые направлены основные выходные воздействия. Здесь же полезно проследить эволюцию системы, путь ее формирования. Нередко именно это ведет к пониманию структуры и особенностей функционирования системы. В целом данная стадия позволяет лучше уяснить главные функции системы, ее зависимость и уязвимость или относительную независимость во внешней среде.

Стадия 5. Выявление неопределенностей и случайностей в ситуации их определяющего влияния на систему (для стохастических систем).

Стадия 6. Выявление разветвленной структуры, иерархии, формирование представлений о системе как о совокупности модулей, связанных входами-выходами.

Стадией 6 заканчивается формирование общих представлений о системе. Как правило, этого достаточно, если речь идет об объекте, с которым мы непосредственно работать не будем. Если же речь идет о системе, которой надо заниматься для ее глубокого изучения, улучшения, управления, то нам придется пойти дальше по спиралеобразному пути углубленного исследования системы.

Формирование детального представления системы:

Стадия 7. Выявление всех элементов и связей, важных для целей рассмотрения. Их отнесение к структуре иерархии в системе. Ранжирование элементов и связей по их значимости.

Стадии 6 и 7 тесно связаны друг с другом, поэтому их обсуждение полезно провести вместе. Стадия 6 - это предел познания «внутри» достаточно сложной системы для лица, оперирующего ею целиком. Более углубленные знания о системе (стадия 7) будет иметь уже только специалист, отвечающий за ее отдельные части. Для не слишком сложного объекта уровень стадии 7 - знание системы целиком - достигим и для одного человека. Таким образом, хотя суть

стадий 6 и 7 одна и та же, но в первой из них мы ограничиваемся тем разумным объемом сведений, который доступен одному исследователю.

При углубленной детализации важно выделять именно существенные для рассмотрения элементы (модули) и связи, отбрасывая все то, что не представляет интереса для целей исследования. Познание системы предполагает не всегда только отделение существенного от несущественного, но также уделение дополнительного внимания более существенному. Детализация должна затронуть и уже рассмотренную в стадии 4 связь системы с «несистемой». На стадии 7 совокупность внешних связей считается проясненной настолько, что можно говорить о доскональном знании системы.

Стадии 6 и 7 подводят итог общему, цельному изучению системы. Дальнейшие стадии уже рассматривают только ее отдельные стороны. Поэтому важно еще раз обратить внимание на системообразующие факторы, на роль каждого элемента и каждой связи, на понимание, почему они именно таковы или должны быть именно таковыми в аспекте единства системы.

Стадия 8. Учет изменений и неопределенностей в системе. Здесь исследуются медленное, обычно нежелательное изменение свойств системы, которое принято называть «старением», а также возможность замены отдельных частей (модулей) на новые, позволяющие не только противостоять старению, но и повысить качество системы по сравнению с первоначальным состоянием. Такое совершенствование искусственной системы принято называть развитием. К нему также относят улучшение характеристик модулей, подключение новых модулей, накопление информации для лучшего ее использования, а иногда и перестройку структуры, иерархии связей.

Основные неопределенности в стохастической системе считаются исследованными на стадии 5. Однако недетерминированность всегда присутствует и в системе, не предназначенной работать в условиях случайного характера входов и связей. Добавим, что учет неопределенностей в этом случае обычно превращается в исследование чувствительности важнейших свойств (выходов) системы. *Под чувствительностью понимают степень влияния изменения вхо-*

дов на изменение выходов.

Стадия 9. Исследование функций и процессов в системе в целях управления ими. Введение управления и процедур принятия решения. Управляющие воздействия как системы управления. Для целенаправленных и других систем с управлением данная стадия имеет большое значение. Основные управляющие факторы были уяснены при рассмотрении стадии 3, но там это носило характер общей информации о системе. Для эффективного введения управлений или изучения их воздействий на функции системы и процессы в ней необходимо глубокое знание системы. Именно поэтому мы говорим об анализе управлений только сейчас, после всестороннего рассмотрения системы. Напомним, что управление может быть чрезвычайно разнообразным по содержанию - от команд специализированной управляющей ЭВМ до министерских приказов.

Однако возможность единообразного рассмотрения всех целенаправленных вмешательств в поведение системы позволяет говорить уже не об отдельных управленческих актах, а о системе управления, которая тесно переплетается с основной системой, но четко выделяется в функциональном отношении.

На данной стадии выясняется, где, когда и как (в каких точках системы, в какие моменты, в каких процессах, скачках, выборах из совокупности, логических переходах и т.д.) система управления воздействует на основную систему, насколько это эффективно, приемлемо и удобно реализуемо. При введении управлений в системе должны быть исследованы варианты перевода входов и постоянных параметров в управляемые, определены допустимые пределы управления и способы их реализации.

Стадии 6-9 посвящены углубленному исследованию системы. Далее идет специфическая стадия моделирования. О создании модели можно говорить только после полного изучения системы.

Таким образом, выполнение всех стадий позволяет завершить формирование инженерных представлений об автоматизированной системе управления.

§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 Принцип системного анализа это...?
- 2 Перечислите основные принципы системного анализа?
- 3 Поясните принцип развития?
- 4 Условными фазами жизненного цикла ИС являются?
- 5 Что обеспечивает этап декомпозиции задачи?
- 6 Что осуществляется на этапе декомпозиции задачи?
- 7 Какие стадии проходит формирование общего представления системы?
- 8 В чем состоит проблема проведения декомпозиции?
- 9 Какие стратегии декомпозиции вы знаете?
- 10 При какой стратегии декомпозиции основным ставиться вопрос *что* делает система, независимо от того как она работает.
- 11 Из каких этапов состоит структура системного анализа?
- 12 На каком этапе обеспечивается формирование детального представления системы?
- 13 Что обеспечивает этап синтеза системы?

Глава 5 Концептуальные основы систем поддержки принятия решений

В процессе своей деятельности промышленные предприятия, корпорации, ведомственные структуры, органы государственной власти и местного самоуправления накопили большие объемы данных в своих АИС. Эти данные хранят в себе большие потенциальные возможности по извлечению полезной аналитической информации, на основе которой можно выявлять скрытые тенденции, строить стратегию развития, находить новые решения.

Реализация потенциальных возможностей существующих АИС привело к формированию полноценного рынка технологий бизнес-анализа (Business Intel-

ligence, BI) – категория технологий сбора, хранения, анализа и публикации данных, позволяющая корпоративным пользователям извлекать аналитическую информацию и принимать обоснованные решения. В русскоязычной терминологии подобные системы называются системами поддержки принятия решений (СППР).

§ 1 Архитектура системы поддержки принятия решений

Современные СППР (Decision Support System, DSS), возникшие как естественное развитие автоматизированных систем управления и систем управления базами данных, представляют собой системы, приспособленные к решению задач управленческой деятельности, являются инструментом, призванным оказать помощь ЛПР в решении неструктурированных и слабоструктурированных многокритериальных задач.

Развитие систем информационно-аналитической поддержки принятия решений, ориентированных на формирование процессов управления в информационных системах промышленных предприятия, корпораций, ведомственных структур, органов государственной власти и местного самоуправления показано на рисунке 5.1.

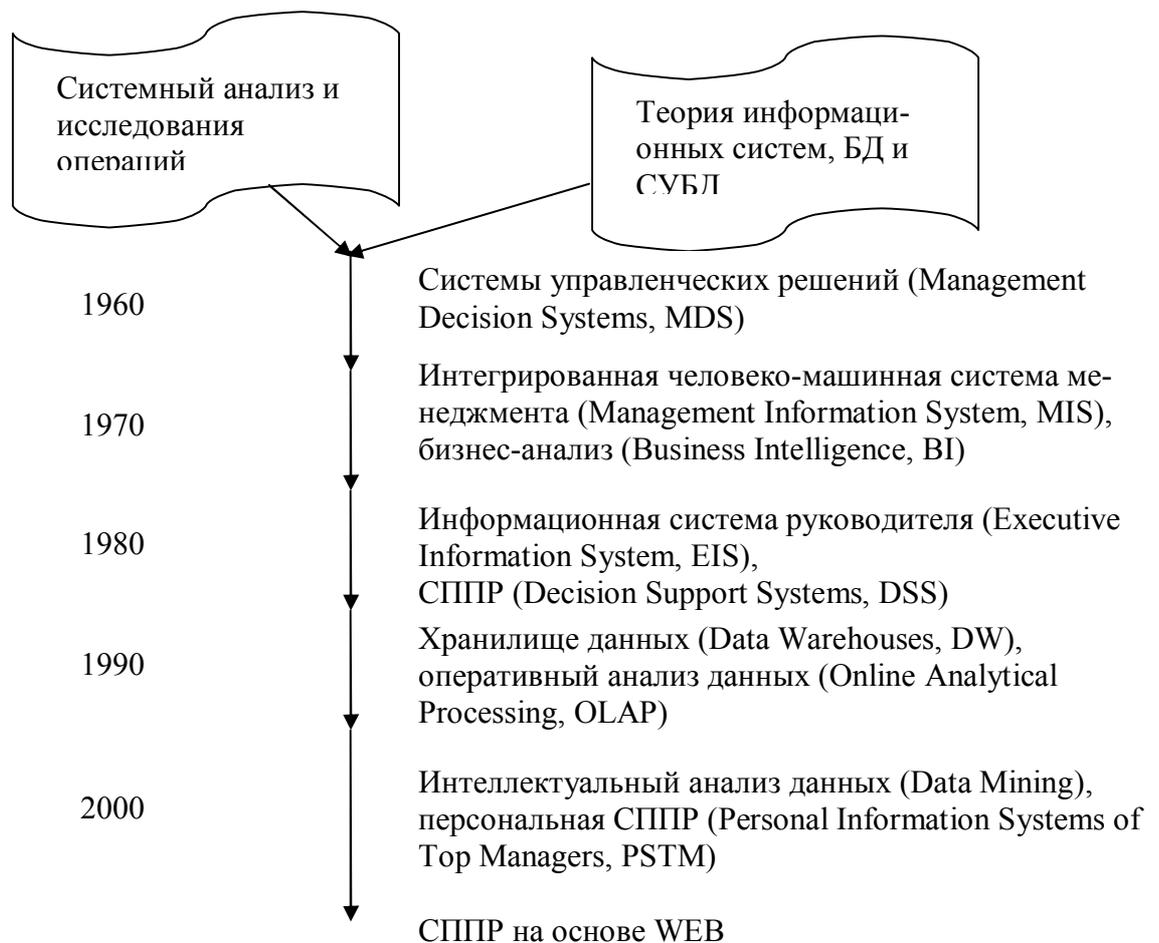


Рисунок 5.1 – Развитие систем информационно-аналитической поддержки управленческих решений

В настоящее время нет общепринятого определения СППР, поскольку архитектура СППР существенно зависит от вида решаемых задач, от доступных данных и правил их использования (знаний), а также от пользователей системы. Однако, можно привести некоторые свойства, общепризнанные для СППР:

- использование и данных, и моделей;
- решение слабоструктурированных и неструктурированных задач;
- поддерживают, а не заменяют, выработку решений ЛПР;
- целенаправленны на повышение эффективности (оперативность и обоснованность и др.) решений, обеспечивающих потенциальные возможности объекта управления.

Отсюда определение. **СППР** – диалоговая автоматизированная система,

использующая правила принятия решений на основе моделей и баз данных, а также интерактивный компьютерный процесс их взаимодействия.

На рисунке 5.2 приведена архитектурно-технологическая схема информационно-аналитической поддержки принятия решений.



Рисунок 5.2 – Архитектурно-технологическая схема информационно-аналитической поддержки принятия решений

Сбор и хранение информации, а также решение информационно-поисковых задач средствами систем управления базами данных (СУБД), осуществляется в OLTP (Online Transaction Processing)-подсистемах, реализующих транзакционную обработку данных (группа последовательных операций, которая представляет собой логическую единицу работы с данными).

Для предоставления необходимой для принятия решений информации обычно приходится собирать данные из нескольких транзакционных баз данных различной структуры и содержания. Основная проблема при этом состоит в несогласованности и противоречивости этих баз-источников, отсутствии единого логического взгляда на корпоративные данные. Поэтому для объединения в одной системе OLTP и СППР для реализации подсистемы хранения используется **концепция хранилищ данных (ХД)**. В основе концепции ХД лежит идея разделения данных, используемых для оперативной обработки и для решения задач анализа, что позволяет оптимизировать структуры хранения. ХД интегрирует ранее разъединенные данные, содержащиеся в архивах, накапливаемых OLTP-системами из внешних источников, в единую базу данных, осуществляя

их предварительное согласование и агрегацию.

Подсистема анализа может быть построена на основе:

- подсистемы информационно-поискового анализа на базе реляционных СУБД и статических запросов с использованием языка SQL;
- подсистемы оперативного анализа. Для реализации таких подсистем применяется технология оперативной аналитической обработки данных OLAP, использующая концепцию многомерного представления данных;
- подсистемы интеллектуального анализа, реализующие методы и алгоритмы Data Mining.

Архитектура СППР также представляется по-разному. Обобщая известные подходы на рисунке 5.3 представлена схема, состоящая из следующих элементов: системы управления данными (the data management system, DBMS), системы управления моделями (the model management system, MBMS), машина знаний (the knowledge engine, KE), интерфейс пользователя (the user interface) и пользователей – ЛПР (the user(s)).

Для СППР отсутствует не только единое общепринятое определение, но и исчерпывающая классификация. Обобщая существующие взгляды, классификация СППР представляется следующим образом (см. таблицу 5.1).

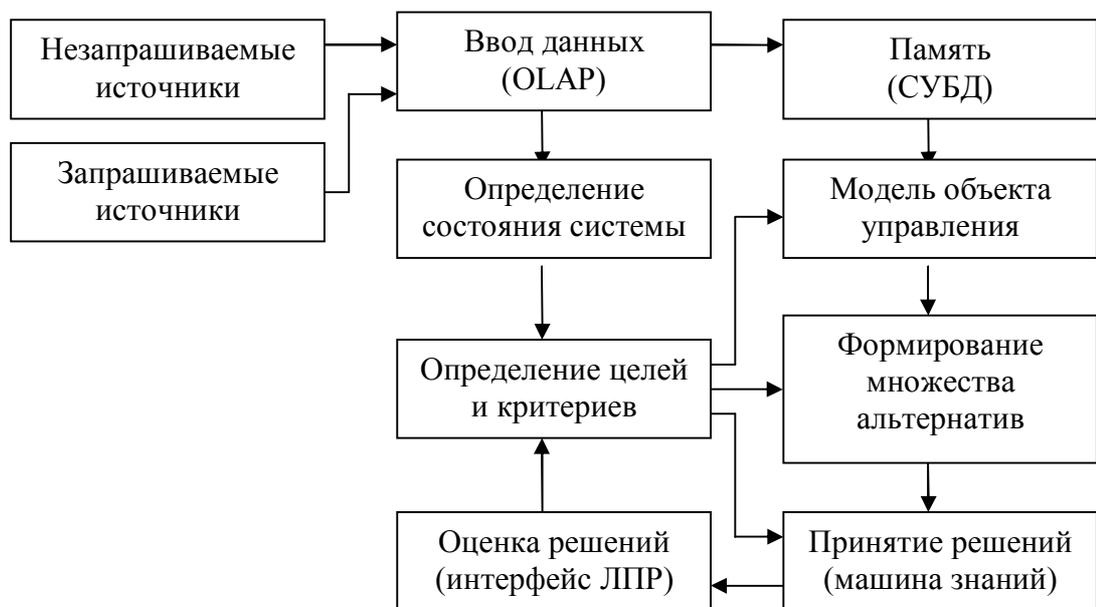


Рисунок 5.3 – Обобщенная архитектура СППР

Таблица 5.1 – Классификация СППР

Признаки	Классы СППР
На концептуальном уровне	Управляемые сообщениями (Communication-Driven DSS), управляемые данными (Data-Driven DSS), управляемые документами (Document-Driven DSS), управляемые моделями (Model-Driven DSS).
На уровне пользователя	Пассивные, активные, интерактивные
На техническом уровне	СППР предприятия, настольные СППР
В зависимости от данных	Оперативные, стратегические

На концептуальном уровне СППР делятся на управляемые сообщениями (Communication-Driven DSS), управляемые данными (Data-Driven DSS), управляемые документами (Document-Driven DSS), управляемые знаниями (Knowledge-Driven DSS) и управляемые моделями (Model-Driven DSS).

СППР, управляемые моделями, характеризуются доступом и манипуля-

циями с математическими моделями (статистическими, оптимизационными, имитационными). Некоторые OLAP-системы, позволяющие осуществлять сложный анализ данных, могут быть отнесены к гибридным СППР, которые обеспечивают моделирование, поиск и обработку данных.

Управляемая сообщениями (Communication-Driven DSS) СППР поддерживает группу пользователей, работающих над выполнением общей задачи.

СППР, управляемые данными (Data-Driven DSS) или СППР, ориентированные на работу с данными (Data-oriented DSS), также известные как IB, в основном ориентируются на доступ и манипуляции с данными.

СППР, управляемые документами (Document-Driven DSS), управляют, осуществляют поиск и манипулируют неструктурированной информацией, заданной в различных форматах.

СППР, управляемые знаниями (Knowledge-Driven DSS), обеспечивают решение задач в виде фактов, правил, процедур.

На уровне пользователя СППР делятся на пассивные, активные и интерактивные. Пассивной СППР называется система, которая помогает процессу принятия решения, но не может вынести предложение, какое решение принять. Активная СППР может сделать предложение, какое решение следует выбрать. Интерактивная СППР позволяет ЛПР изменять решения путем варьирования исходными данными или условиями решений.

На техническом уровне различается СППР предприятия и настольные СППР. СППР первого типа подключена к ХД и обслуживает многих менеджеров предприятия, а второй тип обслуживает один компьютер пользователя.

В зависимости от данных, с которыми системы работают, СППР условно подразделяются на оперативные и стратегические. Оперативные СППР предназначены для немедленного реагирования на изменения текущей ситуации в управлении финансово-хозяйственными процессами компании. Стратегические СППР ориентированы на анализ значительных объемов разнородной информации, собираемых из различных источников. Важнейшей целью этих СППР является поиск наиболее рациональных вариантов развития бизнеса компании с

учетом влияния различных факторов, таких как конъюнктура целевых для компании рынков, изменения финансовых рынков, изменения в законодательстве и др.

СППР первого типа получили название Информационных Систем Руководства – ИСР (Executive Information Systems, EIS). По сути, это конечные наборы отчетов, построенные на основании данных из транзакционной АИС предприятия, в идеале адекватно отражающей в режиме реального времени основные аспекты производственной и финансовой деятельности.

СППР второго типа предполагают достаточно глубокую проработку данных, специально преобразованных для использования в ходе процесса принятия решений. Неотъемлемым компонентом СППР этого уровня являются правила принятия решений, которые на основе агрегированных данных дают возможность менеджерам компании обосновывать свои решения, использовать факторы устойчивого роста бизнеса компании и снижать риски.. Технологии этого типа СППР строятся на принципах многомерного представления и анализа данных (OLAP).

В настоящее время при создании СППР получили развитие Web-технологии, которые для ряда компаний являются синонимами СППР.

Таким образом, в настоящее время концептуальные основы СППР находятся в развитии, понятия требуют дальнейшего осмысления, а методы – научных исследований.

§ 2 Хранилище данных

Хранилище данных - предметно-ориентированная корпоративная база данных, предназначенная для подготовки отчетов, анализа бизнес-процессов и поддержки принятия решений.

Цель ХД - обеспечить целостность и поддерживать хронологию всевозможных корпоративных данных, и с этой точки зрения оно нейтрально по отношению к приложениям. Строится на базе клиент-серверной архитектуры, реляционной СУБД и утилит поддержки принятия решений (рисунок 5.4).

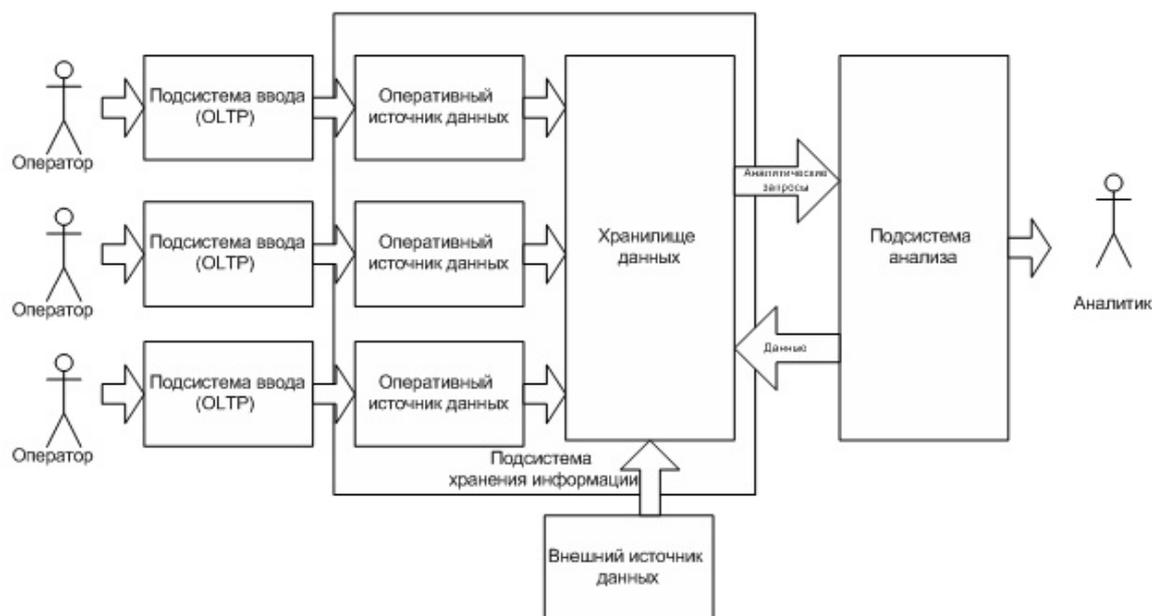


Рисунок 5.4 – СППР с физическим ХД

Данные из корпоративных OLTP-систем копируются в ХД таким образом, чтобы построение отчётов и OLAP-анализ не использовал ресурсы корпоративной системы и не нарушал её стабильность. Данные, поступающие в ХД, становятся доступны только для чтения и загружаются в хранилище с определённой периодичностью, поэтому актуальность данных OLAP-систем несколько отстает от OLTP-системы.

Проблематика построения ХД:

– интеграция разнородных данных. Данные в ХД поступают из разнородных OLTP-систем, которые физически могут быть расположены на различных узлах сети. При проектировании и разработке ХД необходимо решать за-

дачу интеграции различных программных платформ хранения;

- эффективное хранение и обработка больших объемов данных. Построение ХД предполагает накопление данных за значительные периоды времени, что ведет к постоянному росту объемов дисковой и оперативной памяти, требующейся для обработки этих данных, причем рост нелинеен;

- организация многоуровневых справочников метаданных. Конечным пользователям СППР необходимы метаданные, описывающие структуру хранящихся в ХД данных, а также инструменты их визуализации;

- обеспечение информационной безопасности ХД. Сводная информация о деятельности компании, как правило, относится к коммерческой тайне и подлежит защите, кроме того, в ХД могут содержаться персональные данные клиентов и сотрудников, которые также необходимо защищать. Для выполнения этой функции должна быть разработана политика безопасности ХД и связанная с ней инфраструктура.

Архитектура ХД. При загрузке данных из OLTP-системы в физически организованное хранилище происходит их дублирование. Однако в ходе этой загрузки данные фильтруются, поскольку не все из них имеют значение для проведения процедур анализа. В ХД хранится обобщенная информация, которая в OLTP-системе отсутствует.

Избыточность информации можно свести к нулю, используя *виртуальное* (распределенное) ХД. В такой системе данные из OLTP-системы не копируются в единое хранилище. Они извлекаются, преобразуются и интегрируются непосредственно при выполнении аналитических запросов в режиме реального времени. Фактически такие запросы напрямую передаются к OLTP-системе. Достоинства виртуального ХД: минимизация объема хранимых данных (работа с текущими, актуальными данными). Недостатки виртуального ХД: более высокое, по сравнению с физическим ХД, время обработки запросов; необходимость постоянной доступности всех OLTP-источников; снижение быстродействия OLTP-систем; OLTP-системы не ориентированы на хранение данных за длительный период времени, по мере необходимости данные выгружаются в

архивные, поэтому не всегда имеется физическая возможность получения полного набора данных.

Витрины данных. Сокращение затрат на разработку ХД может быть достигнуто путем создания витрин данных (ВД). ВД – упрощенный вариант ХД, содержащий только тематически объединенные данные (рисунок 5.5).

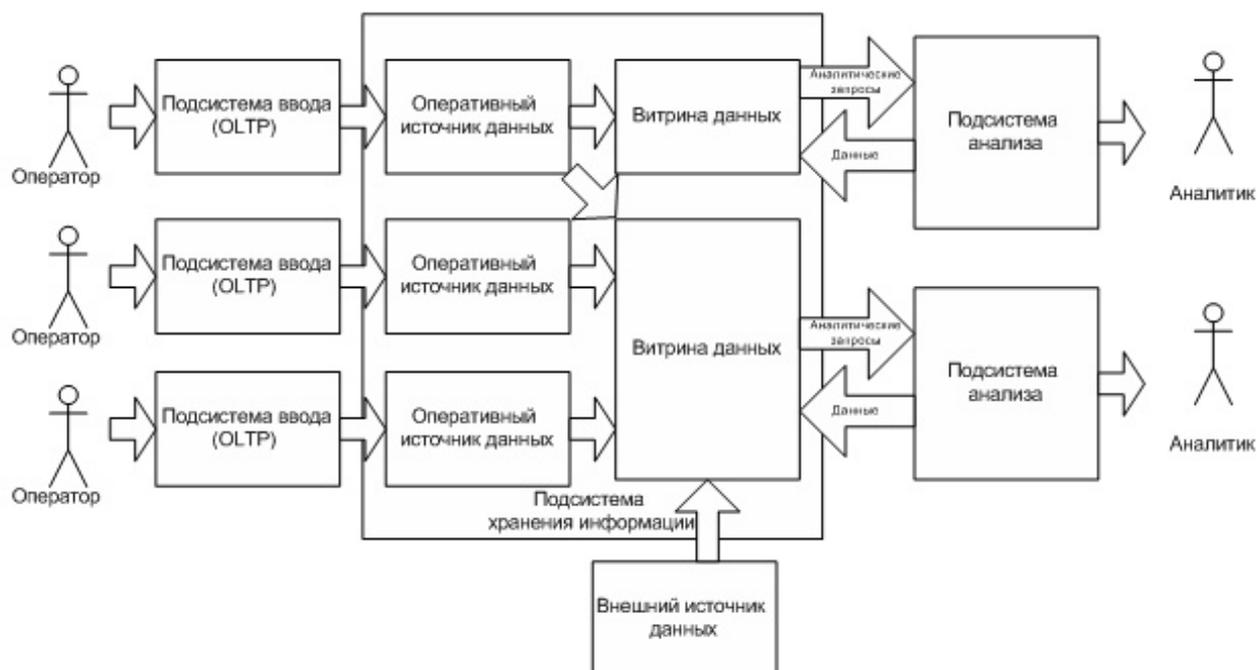


Рисунок 5.5 – СППР с витринами данных

ВД содержит данные, ориентированные на конкретного пользователя, и требуют существенно меньших ресурсов. Недостатками ВД является многократное хранение одних и тех же данных в различных ВД и отсутствие консолидации данных на уровне предметной области.

Интерес представляет совмещение ХД и ВД в рамках одной СППР. ХД в этом случае представляет собой единый источник данных для всей предметной области, а ВД являются подмножествами данных для представления информации по тематическим разделам данной области (рисунок 5.6).

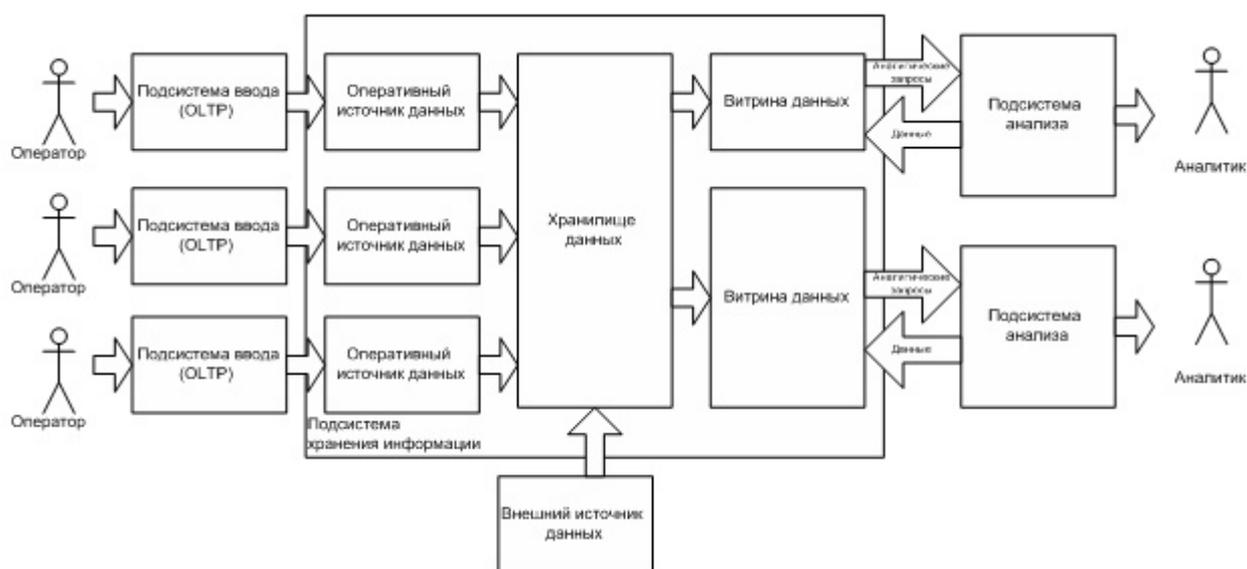


Рисунок 5.6 – СППР с ХД и ВД

Достоинствами такого решения являются простота создания и наполнения ВД, поскольку наполнение происходит из единого стандартизированного источника очищенных данных - из ХД, простота расширения за счет добавления новых ВД, а также снижение нагрузки на основное ХД. Недостатки заключаются в избыточности, так как данные хранятся и в ХД, и в ВД.

Данные в ХД делятся на три категории:

- **детальные данные** (данные соответствующие элементарным событиям, фиксируемым в OLTP-системах. Подразделяются на: измерения - наборы данных, необходимые для описания событий (товар, продавец, покупатель, магазин, ...); факты - данные, отражающие сущность события (количество проданного товара, сумма продаж, ...);
- **агрегированные (обобщенные) данные** - данные, получаемые на ос-

новании детальных путем суммирования по определенным измерениям;

- **метаданные** - данные о данных, содержащихся в ХД.

Отсюда, основными таблицами ХД являются таблицы фактов и измерений.

Таблица фактов – содержит сведения об объектах или событиях, совокупность которых будет в дальнейшем анализироваться. Обычно говорят о четырех наиболее часто встречающихся типах фактов:

- факты, связанные с транзакциями (Transaction facts). Основаны на отдельных событиях (типичными примерами которых являются телефонный звонок или снятие денег со счета с помощью банкомата);

- факты, связанные с «моментальными снимками» (Snapshot facts). Основаны на состоянии объекта (например, банковского счета) в определенные моменты времени, например, на конец дня или месяца. Типичными примерами таких фактов являются объем продаж за день или дневная выручка;

- факты, связанные с элементами документа (Line-item facts). Основаны на том или ином документе (например, счете за товар или услуги) и содержат подробную информацию об элементах этого документа (например, количестве, цене, проценте скидки);

- факты, связанные с событиями или состоянием объекта (Event or state facts). Представляют возникновение события без подробностей о нем (например, факт продажи или факт отсутствия таковой).

Таблица фактов, как правило, содержит уникальный составной ключ, объединяющий первичные ключи таблиц измерений. Чаще всего это целочисленные значения, либо значения типа «дата/время», т.к. таблица фактов может содержать сотни тысяч, миллионы записей и хранить в ней повторяющиеся текстовые описания невыгодно - лучше поместить их в меньшие по объему таблицы измерений. При этом как ключевые, так и некоторые неключевые поля должны соответствовать будущим измерениям OLAP-куба. Помимо этого таблица фактов содержит одно или несколько числовых полей, на основании которых в дальнейшем будут получены агрегатные данные.

Таблицы измерений – содержат неизменяемые, либо редко изменяемые данные. В подавляющем большинстве случаев эти данные представляют собой по одной записи для каждого члена нижнего уровня иерархии в измерении. Таблицы измерений также содержат как минимум одно описательное поле (обычно с именем члена измерения) и, как правило, целочисленное ключевое поле (обычно это суррогатный ключ) для однозначной идентификации члена измерения. Если будущее измерение, основанное на данной таблице измерений, содержит иерархию, то таблица измерений также может содержать поля, указывающие на «родителя» данного члена в этой иерархии, а также дополнительные атрибуты членов измерений, содержащиеся в исходной оперативной базе данных (например, адреса и телефоны клиентов). Каждая таблица измерений должна находиться в отношении "один ко многим" с таблицей фактов.

Информационные потоки в ХД, представленные на рисунке 5.7, содержат:

- входной поток, образуемый данными, копируемыми из OLTP-систем в ХД (данные при этом очищаются и обогащаются путем добавления новых атрибутов);
- поток обобщения, образуемый агрегированием детальных данных и их сохранением в ХД;
- архивный поток, образуемый архивированием детальных данных, количество обращений к которым снизилось;
- поток метаданных, образуемый потоком информации о данных в репозиторий данных;
- выходной поток, образуемый данными, извлекаемыми пользователями;
- обратный поток, образуемый очищенными данными, записываемыми обратно в OLTP-системы.

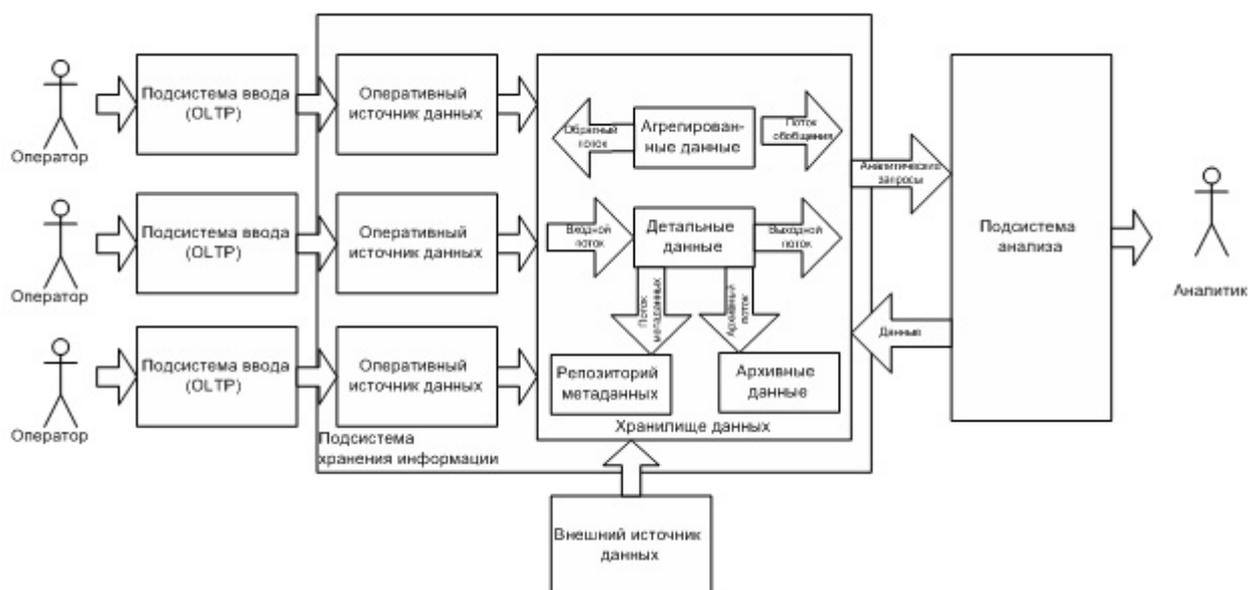


Рисунок 5.7 – Архитектура ХД

Таким образом, выбор архитектуры ХД определяется требованиями к оперативности принимаемых решений и имеющимися вычислительными ресурсами для их достижения.

§ 3 Многомерный анализ данных – OLAP-технологии

OLAP (Online Analytical Processing) – технология оперативной аналитической обработки данных, использующая методы и средства для сбора, хранения и анализа многомерных данных в целях поддержки процессов принятия решений.

Цель OLAP-анализа – проверка возникающих гипотез аналитиков.

Полномасштабная OLAP-система должна выполнять сложные и разнообразные функции, включающие сбор данных из различных источников, их согласование, преобразование и загрузку в хранилище, хранение аналитической информации, регламентную отчетность, поддержку произвольных запросов, многомерный анализ и др.

Структура OLAP-куба. В процессе анализа данных возникает необходимость измерения зависимостей между различными параметрами объекта управ-

ления. Под **измерением** понимается последовательность значений одного из анализируемых параметров. Например, для параметра «время» это последовательность дней, месяцев, кварталов, лет.

Анализ зависимостей между различными параметрами предполагает возможность представления данных в виде **многомерной модели**, представленной на рисунке 5.8 в виде OLAP-куба (гиперкуб).

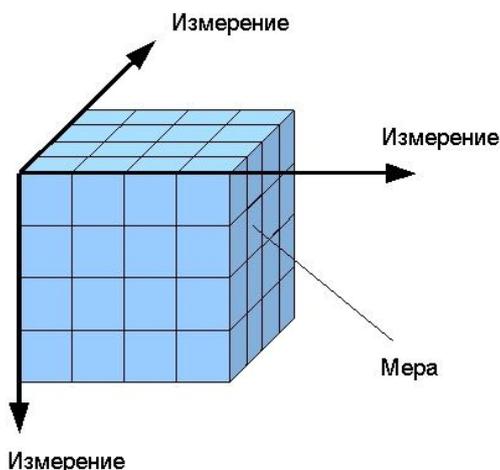


Рисунок 5.8 – OLAP-куб

Оси куба представляют собой измерения, по которым откладывают параметры, относящиеся к анализируемой предметной области, например, названия товаров и названия месяцев года.

На пересечении осей измерений располагаются данные, количественно характеризующие анализируемые факты - меры, например, объемы продаж, выраженные в единицах продукции.

Пример реализации гиперкуба «Импорт» представлен на рисунке 5.9.

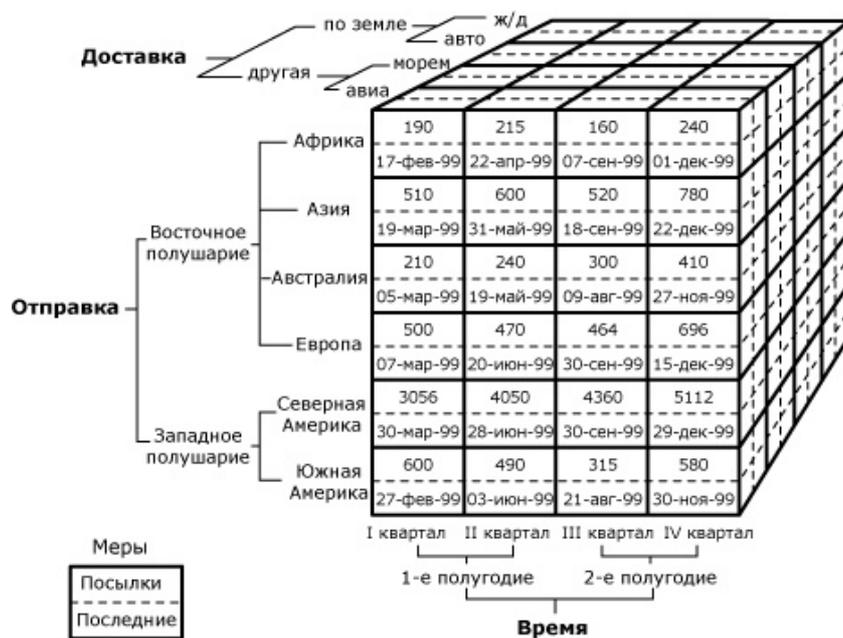


Рисунок 5.9 – Гиперкуб «Импорт»

Операции, выполняемые над гиперкубом. **Срез** (рисунок 5.10) - формируется подмножество многомерного массива данных, соответствующее единственному значению одного или нескольких элементов измерений, входящих в это подмножество.

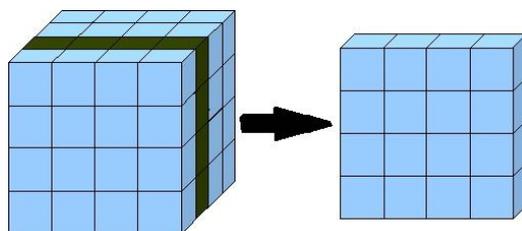


Рисунок 5.10 – Срез

Вращение (рисунок 5.11) - изменение расположения измерений, представленных в отчете или на отображаемой странице. Например, операция вра-

щения может заключаться в перестановке местами строк и столбцов таблицы. Кроме того, вращением куба данных является перемещение внетабличных измерений на место измерений, представленных на отображаемой странице, и наоборот.

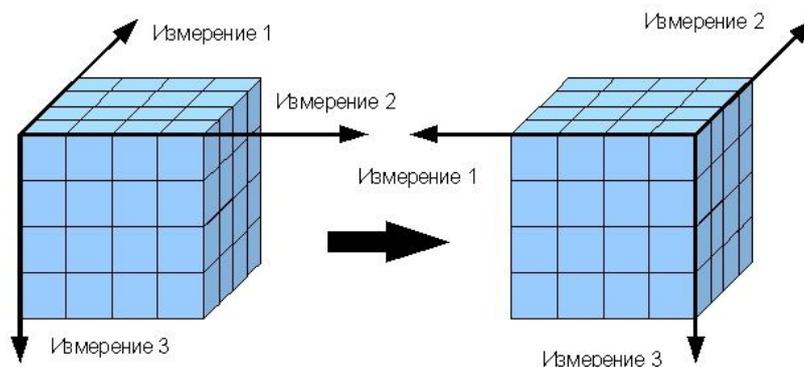


Рисунок 5.11 – Вращение

Консолидация и детализация (рисунок 5.12) - операции, которые определяют переход вверх по направлению от детального представления данных к агрегированному и наоборот, соответственно. Направление детализации (обобщения) может быть задано как по иерархии отдельных измерений, так и согласно прочим отношениям, установленным в рамках измерений или между измерениями.

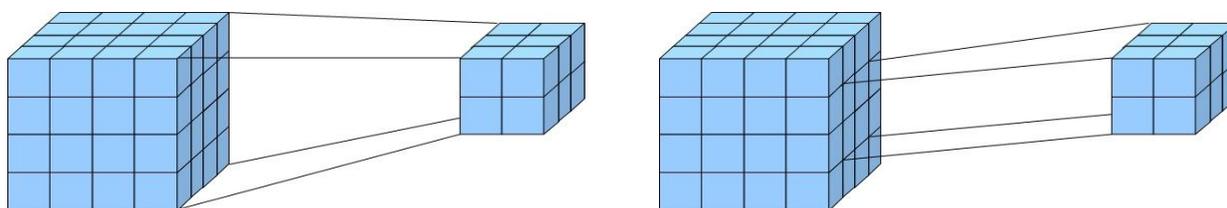


Рисунок 5.12 – Консолидация и детализация

Для организации доступа аналитиков к данным ХД и ВД используются клиентские рабочие места, поддерживающие необходимые технологии как опе-

ративного, так и долговременного анализа. Результаты работы аналитиков оформляются в виде отчетов, графиков, рекомендаций и сохраняются как на локальном компьютере, так и в общедоступном узле локальной сети.

Клиентские OLAP-средства представляют собой приложения, осуществляющие вычисление агрегированных данных (сумм, средних величин, максимальных или минимальных значений) и их отображение, при этом сами агрегированные данные содержатся в кэше внутри адресного пространства такого OLAP-средства.

Если исходные данные содержатся в настольной СУБД, вычисление агрегированных данных производится самим OLAP-средством. Если же источник исходных данных - серверная СУБД, многие из клиентских OLAP-средств посылают на сервер SQL-запросы, содержащие оператор GROUP BY, и в результате получают агрегированные данные, вычисленные на сервере.

Как правило, OLAP-функциональность реализована в средствах статистической обработки данных (на российском рынке широко распространены продукты компаний StatSoft и SPSS) и в некоторых электронных таблицах. В частности, средствами многомерного анализа обладает Microsoft Excel. С помощью этого продукта можно создать и сохранить в виде файла небольшой локальный многомерный OLAP-куб и отобразить его двух- или трехмерные сечения.

Надстройки к пакету приложений Microsoft Office для извлечения и обработки данных дают конечным пользователям возможность выполнять анализ непосредственно в приложениях Microsoft Excel и Microsoft Visio.

В состав Microsoft Office 2007 входят три отдельных OLAP-компонента:

- клиент извлечения и обработки данных для Excel позволяет создавать проекты на базе служб SSAS и управлять ими из Excel 2007;
- средства анализа таблиц для приложения Excel позволяют использовать встроенные в службы SSAS функции извлечения и обработки информации для анализа данных, хранящихся в таблицах Excel;
- шаблоны извлечения и обработки данных для приложения Visio по-

зволяют визуализировать деревья решений, деревья регрессии, кластерные диаграммы и сети зависимостей на диаграммах Visio.

Серверные OLAP-средства – средства анализа и обработки данных масштаба предприятия базируются, например, на Oracle Database Server и Microsoft SQL Server. Некоторые клиентские OLAP-средства (в частности, Microsoft Excel) позволяют обращаться к серверным OLAP-хранилищам, выступая в этом случае в роли клиентских приложений, выполняющих подобные запросы. Помимо этого имеется немало продуктов, представляющих собой клиентские приложения к OLAP-средствам различных производителей. У компании Oracle существует несколько линеек продуктов класса Business Intelligence (BI). Основной аналитический сервер называется Oracle Business Intelligence Enterprise Edition PLUS – это самый обширный комплекс технологий и приложений для обеспечения представления внутренней организации бизнеса, включающий ведущие BI-приложения, технологические BI-платформы и хранилища данных.

Аналитическая деятельность в рамках корпорации достаточно разнообразна и определяется характером решаемых задач, организационными особенностями компании, уровнем и степенью подготовленности аналитиков. Следовательно, функциональности OLAP явно недостаточно, если требуется детальный анализ, либо есть необходимость в автоматизированном поиске скрытых закономерностей в представленном массиве информации.

§ 4 Интеллектуальный анализ данных – технологии Data Mining

В отличие от методов аналитической обработки информации и создания отчетов, концепция Data Mining предполагает обнаружение нетривиальных (скрытых) взаимосвязей между объектами данных, которые нужны для принятия решений.

Инструментарий выработки рекомендаций в концепции Data Mining должен обладать следующими возможностями:

- формирование множества альтернативных вариантов решений;

- использование нескольких критериев оценки;
- учет важности критериев;
- выбор лучшего варианта, который выдается как рекомендация.

Выделяют пять типов закономерностей, которые позволяет выявлять Data Mining: классификация, кластеризация, регрессия, ассоциация, последовательность и прогнозирование.

Краткая характеристика типов закономерностей:

- **классификация** – это отнесение объектов (наблюдений, событий) к одному из заранее известных классов;
- **кластеризация** – это группировка объектов (наблюдений, событий) на основе данных (свойств), описывающих сущность объектов (объекты внутри кластера должны быть похожими друг на друга и отличаться от объектов, вошедших в другие кластеры);
- **регрессия** – это установление функциональной зависимости между зависимыми и независимыми переменными, как правило для задачи прогнозирования;
- **ассоциация** – выявление закономерностей между связанными событиями. Примером такой закономерности служит правило, указывающее, что из события X следует событие Y (нахождения типичных шаблонов покупок, совершаемых в супермаркетах – анализ рыночной корзины (market basket analysis));
- **последовательные шаблоны** – установление закономерностей между связанными во времени событиями. Например, после события X через определенное время произойдет событие Y;
- **анализ отклонений** – выявление наиболее нехарактерных шаблонов.

Основные алгоритмы представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Основные алгоритмы Data Mining

Алгоритм	Описание
Ассоциативные правила	Выявляют причинно следственные связи и определяют вероятности или коэффициенты достоверности, позволяя делать соответствующие выводы. Правила представлены в форме «если <условия>, то <вывод>». Их можно использовать для прогнозирования или оценки неизвестных параметров (значений).
Деревья решений и Алгоритмы классификации	Определяют естественные «разбивки» в данных, основанные на целевых переменных. Сначала выполняется разбивка по наиболее важным переменным. Ветвь дерева можно представить как условную часть правила. Наиболее часто встречающимися примерами являются алгоритмы классификационных и регрессионных деревьев (Classification and regression trees, CART) либо хи-квадрат индукция (Chi-squared Automatic Induction, CHAID).
Искусственные нейронные сети	Здесь для предсказания значения целевого показателя используется наборы входных переменных, математических функций активации и весовых коэффициентов входных параметров. Выполняется итеративный обучающий цикл, нейронная сеть модифицирует весовые коэффициенты до тех пор, пока предсказываемый выходной параметр соответствует действительному значению. После обучения нейронная сеть становится моделью, которую можно применить к новым данным с целью прогнозирования.
Генетические алгоритмы	Этот метод использует итеративный процесс эволюции последовательности поколений моделей, включающий операции отбора, мутации и скрещивания. Для отбора определенных особей и отклонения других используется «функция приспособленности» (fitness function). Генетические алгоритмы в первую очередь применяются для оптимизации топологии нейронных сетей и весов. Однако, их можно использовать и самостоятельно, для моделирования.

Продолжение таблицы 5.2

Алгоритм	Описание
Вывод путем сопоставления (Memory-based Reasoning, MBR) или вывод, основанный на прецедентах (Case-based Reasoning, CBR)	Эти алгоритмы основаны на обнаружении некоторых аналогий в прошлом, наиболее близких к текущей ситуации, с тем чтобы оценить неизвестное значение или предсказать возможные результаты (последствия).
Кластерный анализ	Подразделяет гетерогенные данные на гомогенные или полугомогенные группы. Метод позволяет классифицировать наблюдения по ряду общих признаков. Кластеризация расширяет возможности прогнозирования.

Современный подход к инструментальным средствам анализа не ограничивается использованием какой-то одной технологии. В настоящее время принято различать следующие основные виды аналитической деятельности:

- стандартная отчетность;
- нерегламентированные запросы;
- многомерный анализ (OLAP);
- извлечение знаний (data mining).

В настоящее время при создании СППР получили развитие Web-технологии, которые для ряда компаний являются синонимами СППР. На рисунке 5.13 представлены категории Web Mining и задачи Data Mining.

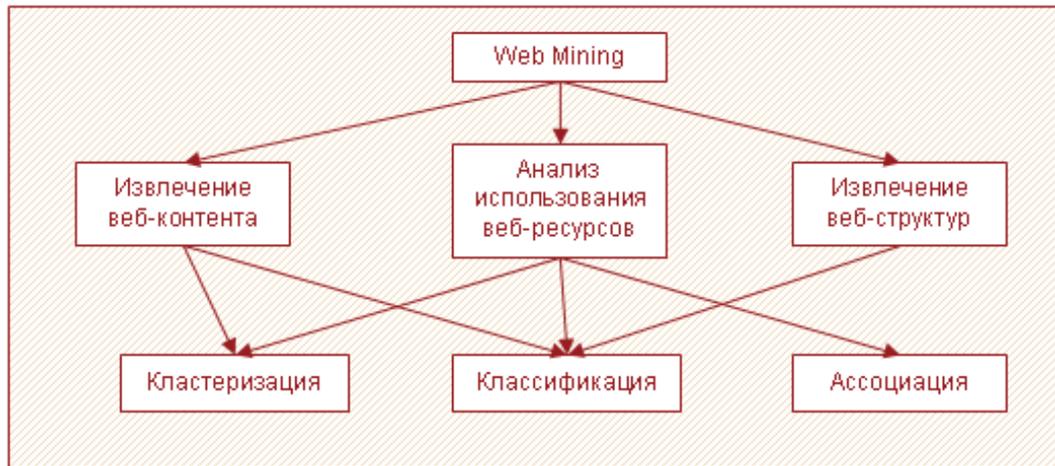


Рисунок 5.13 – Категории Web Mining и задачи Data Mining

Таким образом, каждая из рассмотренных технологий имеет свои особенности, определенный набор типовых задач и должна поддерживаться специализированной инструментальной средой.

§ 5 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 Дать определение СППР.
- 2 Что лежит в основе концепции хранилищ данных?
- 3 На основе чего построена подсистема анализа?
- 4 Для чего предназначены СППР управляемые данными?
- 5 Дать определение хранилище данных?
- 6 В чем состоит проблема построения хранилищ данных?
- 7 Варианты организации хранилищ данных?
- 8 Что такое OLAP-технологии?
- 9 Операции выполняемые над гиперкубом?
- 10 Что предполагает концепция Data Mining?
- 11 Типы закономерностей, которые позволяют выявлять Data Mining?
- 12 Что лежит в основе концепции Data Warehouse?

Часть II Основы исследования операций

Глава 1 Введение в исследования операций

Автоматизированные системы создаются для реализации ряда функций (операций). Требуемый и реально достигаемый результаты функций могут различаться. Это зависит от условий протекания операций, качества системы, реализующей операции, и эффективность способов достижения требуемых результатов. Поэтому при оценке принято различать качество систем и эффективность реализуемых системой операций. Это основные понятия исследования операций – научного направления, занимающегося количественным обоснованием решений в различных областях целенаправленной деятельности.

§ 1 Соотношение понятий качества и эффективности

Соотношение понятий качества и эффективности представлено в таблице 6.1

Таблица 6.1

Понятие	Качество	Эффективность
Определяет	Свойства или совокупность свойств системы, обуславливающих ее пригодность для использования по назначению.	Свойство процессов функционирования системы, характеризующее его приспособленность к достижению цели системы.
Область применения	Объект любой природы	Целенаправленные системы
Основная характеристика	Совокупность свойств системы, существенных для ее использования по назначению	Степень соответствия результатов функционирования системы ее цели
Фактор анализа	Структура системы	Алгоритм функционирования
Размерность	Вектор	Показатели результативности, ресурсоемкости и оперативности
Способ оценивания	Критерии пригодности, оптимальности, превосходства	Критерии пригодности, оптимальности

§ 2 Показатели и критерии качества систем

Методика определения качества. Каждое i - е качество j - й системы, $i = \overline{1, n}$, $i = \overline{1, m}$ описывается с помощью некоторой выходной переменной y_i^j , отображающей определенное существенное свойство системы.

Значение y_i^j характеризует меру этого качества или частный показатель качества.

Показатель y_i^j может принимать значение из множества допустимых значений $\langle y_i^{\text{доп}} \rangle$.

Обобщенным показателем качества j - й системы будет вектор $Y^j = \langle y_1^j, y_2^j, \dots, y_n^j \rangle$, компонентами которого будут показатели его отдельных свойств.

Частные показатели имеют различную размерность. Поэтому при определении Y^j следует оперировать нормированными значениями.

Задача нормирования определяется в виде

$$y_i^n = \frac{y_i}{y_i^0}, \quad (6.1)$$

где y_i^0 - нормирующая величина.

Возможны несколько подходов к выбору нормирующей величины:

- y_i^0 задается ЛПР;
- $y_i^0 = \max y_i^j$;
- $y_i^0 = \max y_i^j - \min y_i^j$.

Требуемое качество системы задается правилами, которым должны удовлетворять показатели существенных свойств, а проверки их выполнения назы-

вается оцениванием качества системы.

Т.О., *критерий качества – это показатель существенных свойств системы и правило его оценивания.*

Пусть $Y^* = \langle y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^* \rangle$ - вектор идеальной системы.

Тогда область адекватности показателя качества определяется

$$\delta \subseteq |Y^{\text{аит}} \setminus Y^*| / |Y^*|,$$

где δ - радиус области адекватности.

Типы критериев качества

1. Критерий пригодности

$$K^{\text{приг}} : (\forall_i) (y_i^j \in \delta | \delta_i \rightarrow y_i^{\text{доп}}, i = \overline{1, n}). \quad (6.2)$$

Правило, согласно которому j - ая система считается пригодной, если значения всех i - х частных показателей y_i^j этой системы принадлежит области адекватности δ , а радиус этой области соответствует допустимым значениям всех частных показателей.

2. Критерий оптимальности

$$K^{\text{опт}} : (\exists_i) (y_i^j \in \delta | \delta_i \rightarrow \delta^{\text{доп}}). \quad (6.3)$$

Правило, согласно которому j - я система считается оптимальной по i - у показателю качества: если существует хотя бы один частный показатель y_i^j , значение которого принадлежит области адекватности, а радиус этой области по этому показателю оптимален.

3. Критерий превосходства

$$K^{\text{прев}} : (\forall_i) (y_i^j \in \delta_i \rightarrow \delta^{\text{опт}}, i = \overline{1, n}). \quad (6.4)$$

Правило, согласно которому j - ая система считается лучшей, если все значения частных показателей качества y_i^j принадлежат области адекватности, а радиус этой области оптимален по всем показателям.

Формально $K^{\text{прев}} \subset K^{\text{опт}} \subset K^{\text{приг}}$.

При оценивании качества систем с управлением целесообразно выделить нескольких уровней качества, проранжированных в порядке возрастания сложности рассматриваемых свойств.

Порядковая шкала уровней качества и дерево свойств систем с управлением приведены на рисунке 6.1.

Система, обладающая качеством данного порядка, имеет и все другие более простые качества, но не имеет качеств более высокого порядка.

Первичным качеством любой системы является **устойчивость**, как способность системы возвращаться в равновесное состояние при выводе из него внешними воздействиями. Для простых систем устойчивость объединяет такие свойства, как прочность, стабильность, стойкость и т.д. Для сложных характерны различные формы структурной устойчивости, такие, как надёжность, живучесть, и т.д.

Более сложным, чем устойчивость, является **помехоустойчивость**, понимаемая как способность системы без искажений воспринимать и передавать информационные потоки. К таким свойствам относятся пропускная способность, кодирование информации, электромагнитная совместимость.

Следующим уровнем шкалы качества системы является **управляемость** – способность системы переходить за конечное время в требуемое состояние под влиянием управляющих воздействий. Управляемость обеспечивается, прежде всего, прямой и обратной связью и объединяет такие свойства системы как оперативность, точность, инерционность и т.д. На этом уровне качества для

сложной системы управляемость включает способность принятия решений по формированию управляющих воздействий.

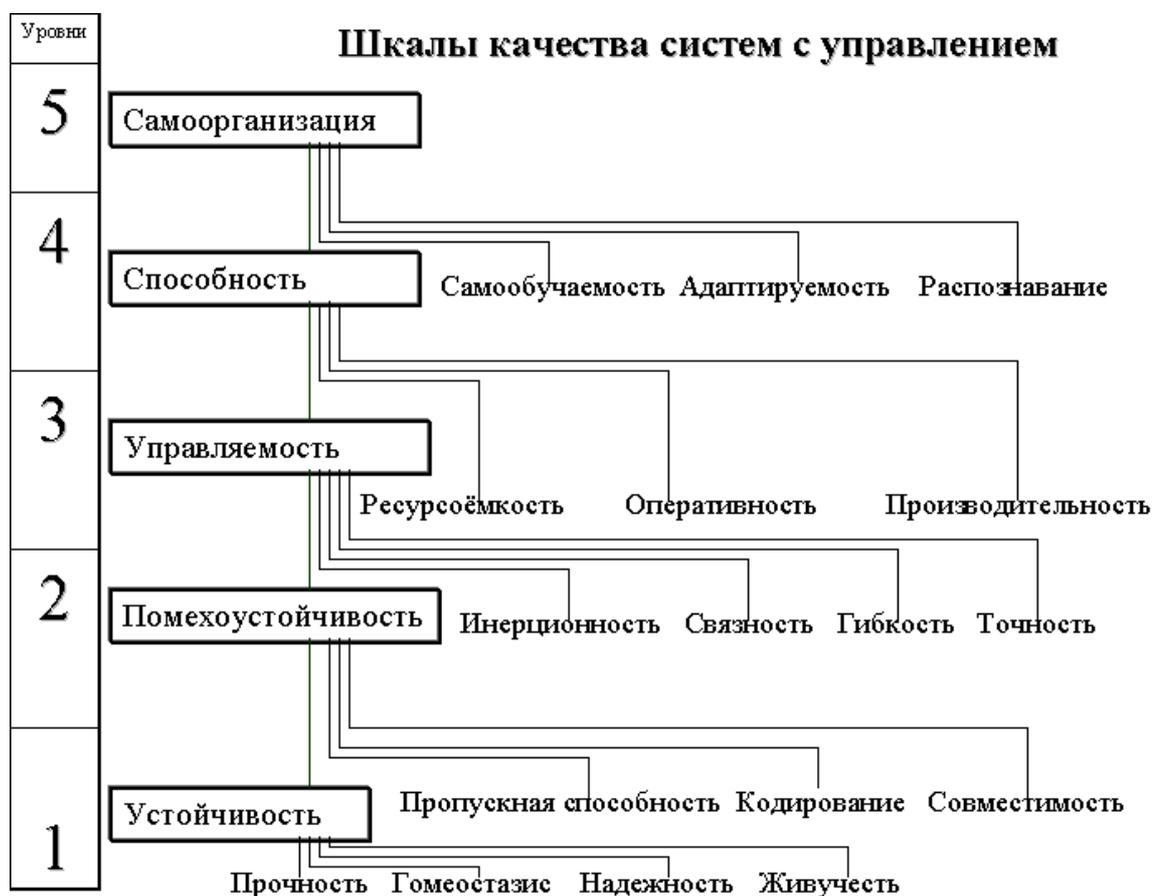


Рисунок 6.1 – Порядковая шкала уровней качества и дерево свойств систем

Следующим уровнем по шкале качеств является **способность**, определяющая возможность системы по достижению требуемого результата на основе имеющихся ресурсов в заданный период времени. Данное качество характеризуется такими свойствами, как результативность, ресурсоёмкость и оперативность. По сути, это **потенциальная эффективность** функционирования системы – способность получить требуемый результат при идеальном способе использования ресурсов и в отсутствии воздействия внешней среды.

Наиболее сложным качеством системы является **самоорганизация**. Самоорганизующиеся система способна изменять свою структуру, параметры, алгоритм функционирования и т.д. Свойствами самоорганизации является

адаптируемость, самообучаемость, способность к распознаванию ситуации.

Уровень качества выбирает исследователь в зависимости от целей исследования, наличия информации и условия применения системы.

§ 3 Показатели и критерии эффективности систем

Термин «эффективность» связывается с системой, и с операцией и с решением. Эти понятия можно считать эквивалентными.

Будем понимать под эффективностью комплексное свойство процесса функционирования системы, как степень приспособленности к достижению цели.

В общем случае оценка функциональных свойств систем проводится в двух аспектах:

- результат функционирования (операции);
- алгоритм, обеспечивающий получение результата.

Результат функционирования и алгоритм, обеспечивающий его получение, оцениваются по показателям результативности, ресурсоемкости и оперативности.

Результативность Y_p обуславливает её получаемым целевым эффектом, ради которого функционирует система.

Ресурсоемкость Y_R характеризуется ресурсами всех видов (людскими, техническими, энергетическими, информационными, финансовыми и т.д.), используемыми для получения целевого эффекта.

Оперативность Y_o определяется расходом времени, потребного для достижения цели функционирования системы.

Вектор эффективности системы определяется:

$$Y_{\text{эф}} = \langle Y_p, Y_R, Y_o \rangle. \quad (6.5)$$

Выбор критерия эффективности – центральный, самый ответственный момент исследования систем.

Процесс выбора критерия является субъективным, творческим процессом.

Математическое выражение критерия эффективности называют **целевой функцией**, поскольку её экстримизация является отражением цели функционирования системы.

Отсюда следует, что формирование критерия эффективности решений требует:

- определить цель решения проблемы;
- найти множество управляемых и неуправляемых характеристик (параметров) системы;
- определить показатели исхода операции.

Конкретные операции достаточно многообразны, однако существует ряд общих принципов, которыми необходимо руководствоваться при формировании критериев эффективности.

В зависимости от типа систем и внешних воздействий операции могут быть:

- детерминированными;
- вероятностными;
- неопределенными.

В связи с этим выделяют 3 группы критериев эффективности:

1 В условиях определенности, если критерии отражают один строго определенный исход детерминированной операции;

2 В условиях стохастической неопределенности, если критерии являются дискретными или непрерывными случайными величинами с известными законами распределения в вероятностной операции;

3 В условиях полной неопределенности, если критерии являются случайными величинами, законы распределения которых неизвестны.

Критерии пригодности для оценки детерминированных операций

$$K^{приз} : (\forall i) (y_i^j \in \delta / \delta_i \rightarrow y^{don}, i \in \langle P, R, O \rangle), \quad (6.6)$$

определяет правило, по которому операция считается эффективной, если все частные показатели исхода операции принадлежат области адекватности.

Критерий оптимальности для оценки детерминированной операции

$$K^{opt} : (\exists i) (y_i^j \in \delta / \delta_i \rightarrow \delta^{opt}, i \in \langle P, R, O \rangle), \quad (6.7)$$

определяет правило, по которому операция считается эффективной, если все частные показатели принадлежат области адекватности, а радиус области адекватности оптимален.

Критерий пригодности для оценки эффективности вероятностной операции

$$K^{приг} : P_{\partialц} (Y_{эф}) \geq P_{\partialц}^{треб} (Y_{эф}), \quad (6.8)$$

определяет правило, по которому операция считается эффективной, если вероятность достижения $P_{\partialц}$ цели по показателям эффективности $Y_{эф}$ не меньше требуемой.

Критерий оптимальности для оценки вероятностной операции

$$K^{opt} : P_{\partialц} (Y_{эф}) = P_{\partialц} (Y_{эф}^{opt}), \quad (6.9)$$

определяет правило, по которому операция считается эффективной, если вероятность достижения цели по показателям эффективности равна вероятности достижения цели с оптимальными значениями этих показателей.

Методика оценки эффективности систем в неопределенных операциях составляет один из основных разделов теории принятия решений.

Общие требования к показателям эффективности: соответствие цели; полнота; измеримость; явность физического смысла; избыточность; чувствительность.

Таким образом, используя указанные критерии, можно оценить качество и эффективность автоматизированных систем.

§ 4 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 Поясните понятие *критерий качества* ?
- 2 Типы критериев качества.
- 3 Какие существуют подходы к выбору нормированной величины?
- 4 Чем обуславливается результативность Y_P ?
- 5 Что называют целевой функцией?
- 6 Дайте определение понятию *устойчивость*?
- 7 Чем характеризуется *ресурсоемкость* Y_R ?
- 8 Чем характеризуется *оперативность* Y_o ?
- 9 На какие группы делятся критерии эффективности?
- 10 Какой критерий предназначен для оценки детерминированных операций?
- 11 Перечислить требования предъявляемые к показателям эффективности?

Глава 2 Оценивание систем

Анализ и синтез АИС невозможен без оценивания различных по своей природе факторов, разнородных связей, внешних условий и т.д. В связи с этим в системном анализе (СА) выделяют раздел – теория оценивания, связанный с определением качества систем и процессов, их реализующих.

Теория эффективности – научное направление, предметом изучения которого являются вопросы количественной оценки эффективности функционирования сложных систем.

В общем случае оценка сложных систем может проводится для различных целей.

§ 1 Цели и этапы оценивания

Под **оценкой** во всех задачах понимают результат, полученный в ходе процесса, который определен как **оценивание**.

Цели оценивания:

- оптимизация (выбор наилучшего алгоритма из нескольких, реализующих один закон функционирования системы);
- идентификация (определение состояния системы, качество которой наиболее соответствует реальному объекту в заданных условиях);
- принятие решений по управлению системой.

Этапы оценивания:

1. *Определение цели оценивания.* В СА различают 2 типа целей.

Качественной называют цель, достижение которой выражается в качественной шкале или шкале порядка.

Количественной называют цель, достижение которой выражается в числовых шкалах.

Определение целей должно осуществляться относительно системы, в которой рассматриваемая система является элементом.

2. *Измерение свойств* системы, признанных существенными для целей оценивания. Для этого выбирают соответствующие шкалы изменений свойств и всем свойствам систем присваивают определенные значения на этих шкалах.

3. *Обоснования предпочтений* – критериев качества или эффективности функционирования систем на основе измеренных на выбранных шкалах свойств.

4. *Собственно оценивание.* Все исследуемые системы, рассматриваемые как альтернативы, сравниваются по сформулированным критериям. В зависимости от целей исследования ранжируются, выбираются и оптимизируются.

В основе оценки лежит процесс сопоставления значений качественных и количественных характеристик систем значениям соответствующих шкал, изучаемых в теории измерения.

§ 2 Методы измерения

Исследование характеристик систем привело к выводу о том, что все возможные шкалы принадлежат к одному из нескольких типов, определяемых перечнем допустимых операций на этих шкалах

Формальной шкалой называется кортеж из трех элементов:

$$\langle X, \varphi, Y \rangle$$

где X – реальный объект;

Y – шкала;

φ – отображение X на Y .

В теории измерений определено:

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n, R_x\}$ – эмпирическая система с отношением, включающая множество свойств x_i , на которые в соответствии с целями измерения задано некоторое отношение R_x . В процессе измерения необходимо каждому свойству $x_i \in X$ поставить в соответствие признак или число, его характеризующее. Например, если целью измерения является выбор, по элементам x_i рассматриваются как альтернативы, а отношение R_x должно позволять сравнить эти альтернативы.

$Y = \{\varphi(x_1), \varphi(x_2), \dots, \varphi(x_n), R_y\}$ – система с отношением, являющаяся отображением эмпирической системы в виде некоторой образной шкалы в числовую систему, соответствующей измеряемой эмпирической системе.

$\varphi \in \Phi$ – отображение X на Y , устанавливающее соответствие между X и Y .

В соответствии с приведенными определениями, измерение эмпирической системы X с отношением R_x состоит определении знаковой системы Y с отношением R_y , соответствующей измеряемой системе.

Типы шкал определяются по Φ , т.е. по множеству допустимых преобразований $x_i \rightarrow y_i$.

Иерархическая структура основных шкал представлена на рис.7.1.

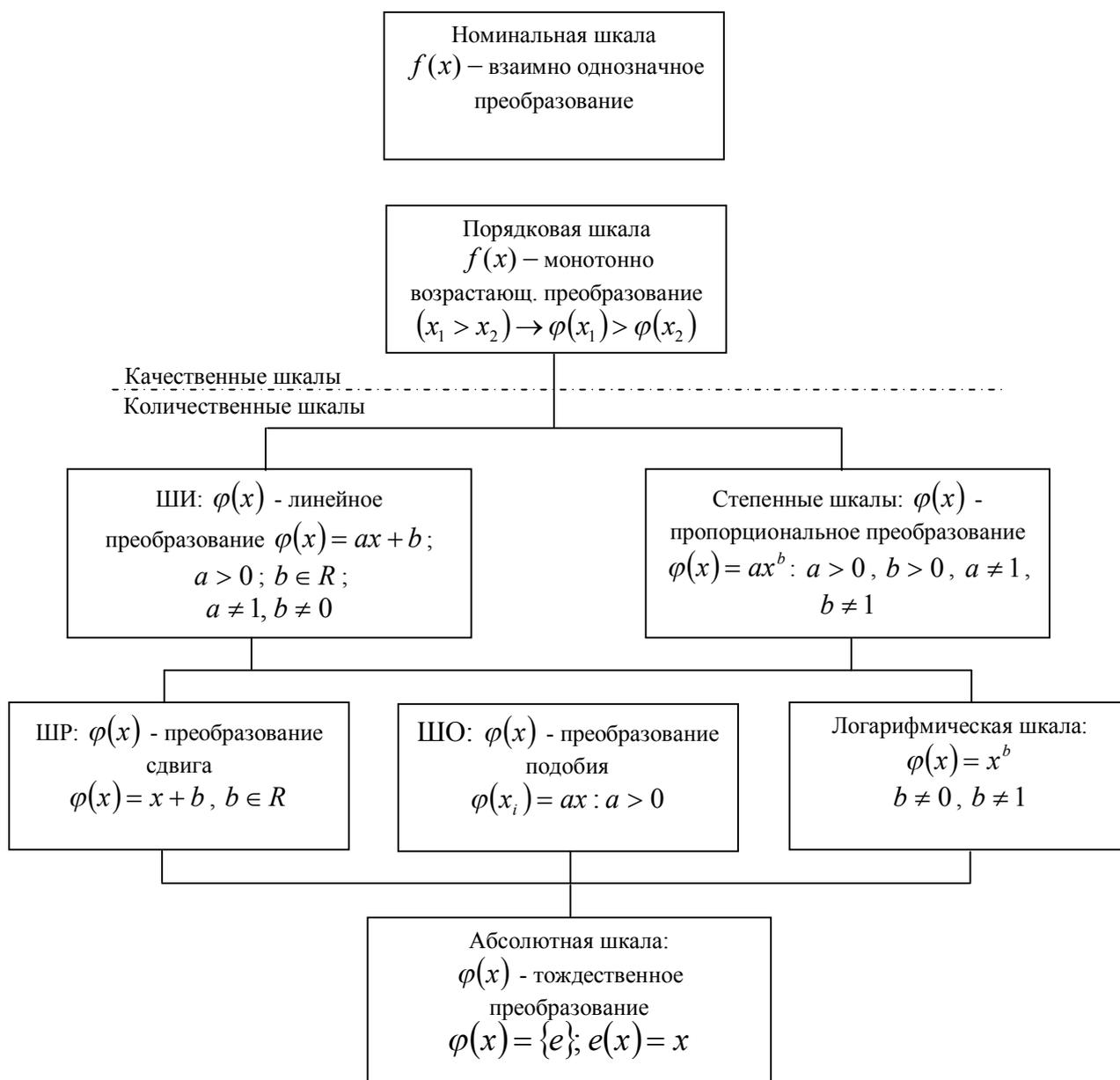


Рисунок 7.1 – Иерархическая структура основных типов шкал

1. Шкалы номинального типа (ШНТ).

Номинальный тип шкал соответствует простейшему виду измерений.

В ШНТ объектом x_i дается некоторый признак, который представляет собой ничем не связанное имя объекта. Это имя для разных объектов либо совпадает, либо различается, т.е. ШНТ допускают только различие объектов на основе

проверки выполнения отношения равенства на множестве этих элементов.

Единственной целью таких измерений – выявление различий между объектами разных классов.

Пример ШНТ: номера автомашин, код города, номер телефона.

2. Шкала порядка (ШП).

ШП или ранговая шкала имеет множество Φ , состоящее из всех монотонно возрастающих допустимых преобразований шкальных значений.

Монотонно возрастающим называют такое преобразование, которое удовлетворяет условию: если $x_1 > x_2$, то и $\varphi(x_1) > \varphi(x_2)$.

ШП допускает не только различие объектов, но и для упорядочения объектов по измеряемым свойствам.

Цели измерения в ШП:

- различение объектов;
- упорядочение объектов во времени или пространстве;
- упорядочение объектов в соответствии с каким-либо свойством.

Примеры: шкала твердости материалов (немецкий ученый Ф. Моос, 1811 г.), таблица Менделеева с атомным весом элементов.

3. Шкалы интервалов (ШИ).

ШИ определяется отношением $\varphi(x) = ax + b$, где $x \in Y$ – шкальные значения из области определения Y ; $a > 0$; b – любое число.

Основным свойством этих шкал является сохранение неизменным отношение интервалов в эквивалентных шкалах

$$\frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_4} = \frac{\varphi(x_1) - \varphi(x_2)}{\varphi(x_3) - \varphi(x_4)} = const$$

Пример:

- шкалы температур. От $^{\circ}C$ к $^{\circ}F$ ($^{\circ}F$ – Фаренгейт) переход осуществляется по преобразованию $t^{\circ}F = 1,8t^{\circ}C + 32$;
- григорианский и мусульманский календари.

Цели измерения в ШИ:

- различение объектов;

- упорядочение объектов;
- сохраняют отношение расстояний между парами объектов.

4. Шкалы отношений (ШО).

ШО называется шкала, если Φ состоит из преобразований подобия $\varphi(x) = ax$, $a > 0$, где $x \in Y$ - шкальные значения из области определения Y , a - действительное число.

В ШО остается неизменным отношение численных оценок объектов

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{\varphi(x_1)}{\varphi(x_2)} = \frac{ax_1}{ax_2} = const$$

Пример ШО: измерение массы, длины объектов.

Следовательно, ШО отражают отношение свойств объектов, т.е. во сколько раз свойство одного объекта превосходит свойства другого объекта. Отсюда, ШО является частным случаем ШИ при выборе нулевой точки отсчета, при этом сохраняют не только отношения свойств объекта, но и отношение расстояний между парами объектов.

Переход от одной ШО к другой, эквивалентной ей шкале осуществляется с помощью преобразования подобия (изменение масштаба измерения).

5. Шкала разностей (ШР).

ШР определяется как шкалы, если Φ состоит из преобразований сдвига $\varphi(x) = x + b$, где $x \in Y$, b - действительное число.

Это означает, что при переходе от одной системы к другой изменяется лишь начало отсчета.

ШР принимается в тех случаях, когда необходимо измерить на сколько один объект превосходит другой определенному свойству.

Пример: изменение прироста продукции за год, летоисчисление.

ШР является частным случаем ШИ, получаемых фиксированием параметра a ($a=1$), т.е. выбором единицы масштаба измерений. Точка отсчета может быть произвольной.

6. Абсолютные шкалы (АШ).

АШ называются шкалы, в которых единственным допустимым преобра-

зованием являются тождественные преобразования: $\varphi(x) = \{e\}$, где $\{e\} = x$. Это означает, что существует только одно отображение эмпирических объектов в числовую систему.

АШ применяются для измерения количества объекта, предмета, события, решений и т.д.

Пример: измерение количества объектов, x - натуральные числа (баллы).

Цели измерения в АШ:

- различение объектов;
- упорядочение объектов;
- отношение интервалов
- отношение значений;
- разность значений.

Кроме рассмотренных, существуют промежуточные типы шкал (степенные и логарифмические).

§ 3 Правила осреднения

Избежать или снизить ошибки в принятии решений, используя теорию измерения, можно на основе правил осреднения.

Осреднение допускается только для однородных характеристик, измеренных в одной шкале. Иными словами, осредняются только такие значения y_i , $i = \overline{1, n}$, которые представляют собой оценки нескольких различных однородных характеристик.

Каждое значение показателя y_i может иметь различную ценность, которую учитывают с помощью коэффициента значимости c_i .

Коэффициент значимости нормируется зависимостью $\sum_{i=1}^n c_i = 1$

Основные формулы осреднения:

1 Средневзвешенное арифметическое (СВА)

$$y_{CBA} = \sum_{i=1}^n c_i y_i$$

2 Среднеарифметическое (СА)

$$y_{CA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

3 Среднеквадратическое (СК)

$$y_{CK} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}$$

4 Средневзвешенное геометрическое (СВГм)

$$y_{CBG} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n y_i^{c_i}}$$

5 Среднегеометрическое (СГ)

$$y_{CG} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n y_i}$$

6 Средневзвешенное гармоническое (СВГр)

$$y_{CBGM} = \left(\sum_{i=1}^n c_i y_i^{-1} \right)^{-1}$$

7 Среднегармоническое (СГр)

$$y_{CGP} = n \left(\sum_{i=1}^n y_i^{-1} \right)^{-1}$$

Осреднение показателей различаются не только по величине, по способу вычисления, но и по своей роли в решении задач системного анализа.

СВА используют для сравнения систем с учетом вклада различных факторов в осредненную оценку. Например, оценим среднее количество информации, получаемое организацией из сети Интернет, используя услуги нескольких прикладных служб.

Если цель оценки является величина протоколов работы, то следует использовать СВА, т.к. использование СА даст неверный результат потому, что служба электронной почты используется значительно реже службы WWW и,

следовательно, вносит меньший вклад в общее количество получаемой информации.

Если целью оценки является получение информации за сутки в течении недели, то целесообразно использовать СА, полностью абстрагируясь от различий между типами служб.

СК используется, когда необходимо сохранить неизменной сумму квадратов исходных величин. Например, при определении местоположения источника радиоизлучения (вычисляется среднеквадратическое отклонение нескольких измерений).

СГм используется, когда важны не абсолютные значения, а относительный разброс характеристик. Например, производительность процессора при сжатии текстового файла составляет 1 млн. усл. ед., а сжатие изображений графических объектов 100 ед., то какую величину считать средней? СА даст оценку 500 000, что близко к максимальной, но достаточно далеко от min. СГм дает более точное - 10 000.

Приведенные примеры показывают, что в каждом конкретном случае требуется четкое определение допустимых условий осреднения.

Соотношение между разными типами средних величин определяется правилом мажоритарности – $СГр \leq СГм \leq СА \leq СК$

Использование необоснованного способа получения средних величин может привести к искусственному завышению или занижению осредненного значения показателя системы.

Применение средних в настоящее время исследовано достаточно полно.

Будущее развитие теории измерения и ее применение для нужд математики и программного обеспечения АИС связаны с дальнейшим развитием понятия измерения.

Наиболее перспективным представляется расширение понятия шкалы путем привлечения понятий нечеткой и лингвистической переменных вводится понятие функции принадлежности $\mu \in [0,1]$, позволяющей более точно измерять качественные характеристики и учитывать неопределенность, свойственную

АС, на основе понятия нечеткой шкалы. Пример: лингвистические переменные - «молодой», «старый», «средний» возраст человека.

§ 4 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 С чем связана теория оценивания?
- 2 Перечислите цели оценивания.
- 3 Перечислите основные этапы оценивания.
- 4 Дать понятие формальной шкалы.
- 5 Что такое эмпирическая система измерения?
- 6 Что обеспечивает этап декомпозиции задачи?
- 7 Пояснить назначение шкалы номинального типа.
- 8 Пояснить цели измерения шкалы интервалов.
- 9 Пояснить цели измерения шкалы отношений.
- 10 Необходимость осреднения в теории измерений?
- 11 В каких случаях используют средневзвешенное арифметическое осреднение?
- 12 В каких случаях используют геометрическое осреднение?
- 13 В каких случаях используют гармоническое осреднение?
- 14 К чему может привести использование необоснованного способа получения средних величин ?

Глава 3 Методы оценивания систем

§ 1 Общая характеристика методов оценивания

Качественные методы оценивания систем используются на начальных этапах системного анализа, если реальная система не может быть описана в количественных характеристиках, отсутствуют закономерности 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.

Во всех методах смысл задачи оценивания состоит в сопоставлении рассматриваемой системы (альтернативе) вектора из критериального пространства Km , координаты точек которого рассматриваются как оценки по соответствующим критериям. Простейшей формой задачи оценивания является задача, когда оценивание есть сравнение с эталоном, а решение задачи находится подсчетом числа эталонных единиц в измеряемом объекте.

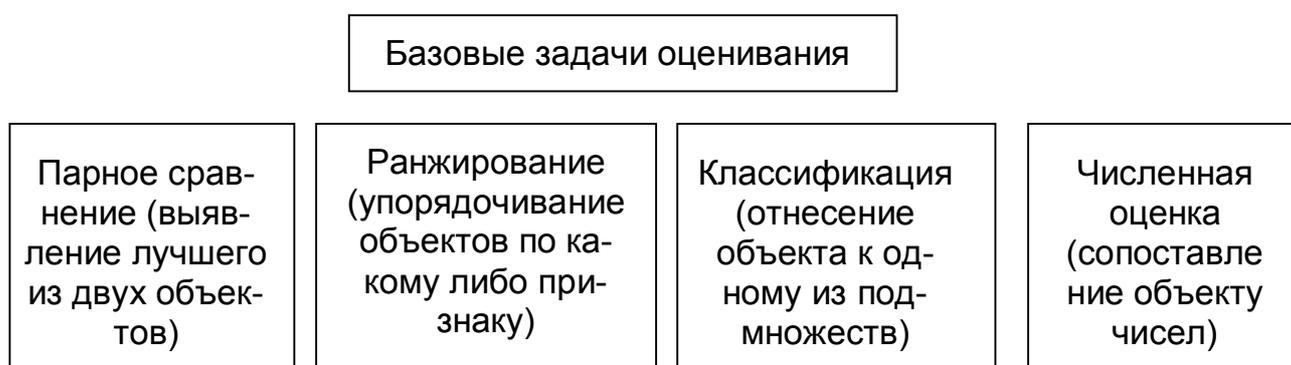


Рисунок 8.1 – Базовые задачи оценивания

Более сложные задачи оценивания разделяются на задачи: парного сравнения, ранжирования, классификации, численной оценки.

Задача парного сравнения заключается в выявлении лучшего из двух имеющихся объектов. Задача ранжирования - в упорядочении объектов, образующих систему, по убыванию (возрастанию) значения некоторого признака. Задача классификации – в отнесении заданного элемента к одному из подмножеств. Задача численной оценки - в сопоставлении системе одного или нескольких чисел.

Перечисленные задачи могут быть решены непосредственно лицом, принимающим решение, или с помощью экспертов – специалистов в исследуемой области. Во втором случае решение задачи оценивания называется *экспертизой*.

Таблица 8.1 - Характеристики качества программного обеспечения

Фактор	Означает
Корректность (правильность)	Обеспечивает правильную обработку на правильных данных
Устойчивость	"Элегантно" завершает обработку ошибок
Расширяемость	Может легко адаптироваться к изменяющимся требованиям
Множественность использования	Может использоваться и в других системах, а не только в той, для которой было создано.
Совместимость	Может легко использоваться с другим программным обеспечением
Эффективность	Эффективное использование времени, компьютерной памяти, дискового пространства и т.д.
Переносимость	Можно легко перенести на другие аппаратные и программные средства
Верификация	Простота проверки, легкость разработки тестов при обнаружении ошибок, легкость обнаружения мест, где программа потерпела неудачу, и т.д.
Поддержка целостности	Защищает себя от неправильного обращения и неправильного употребления
Легкость использования	Для пользователя и для будущих программистов

§ 2 Методы качественного оценивания

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

Определение рейтинга (оценка сравнительной предпочтительности)
Генерирование альтернатив (поиск нестандартных решений)
Экспертная классификация (определение принадлежности элементов исследуемого множества каким-либо классам)
Экспертный прогноз (оценка тенденций ожидаемого развития)
Индивидуальные

Коллективные
«Мозговой атаки» (последовательный поиск нетривиального решения, в котором запрещена критика идей)
Дельфи (анонимное согласование индивидуальных мнений, проводимое в несколько туров)
Сценариев (определение тенденций возможного развития: выдвижение гипотез)
Суда (обсуждение альтернатив: сторонниками, противниками и «судьями»)
Комиссий (регулярная выработка согласованных мнений на собраниях)

Рисунок 8.2 – Качественные методы оценивания

Концепция «мозговой атаки» получила широкое распространение в 50 гг. XX века, как метод тренировки мышления, нацеленный на открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивного мышления.

Формой проведения «мозговой атаки» является сессия, как вид коллективного обсуждения идей и вариантов принятия решений.

При проведении сессии должны соблюдаться определенные правила:

- обеспечить как можно большую свободу мышления при высказывании новых идей;

- приветствовать любые идеи, даже если вначале они кажутся сомнительными или абсурдными;
- не допускать критики любой идеи и не объявлять ее ложной без обсуждения;
- приветствовать нетривиальные идеи.

В ходе обсуждения формируются предварительные варианты решения проблем.

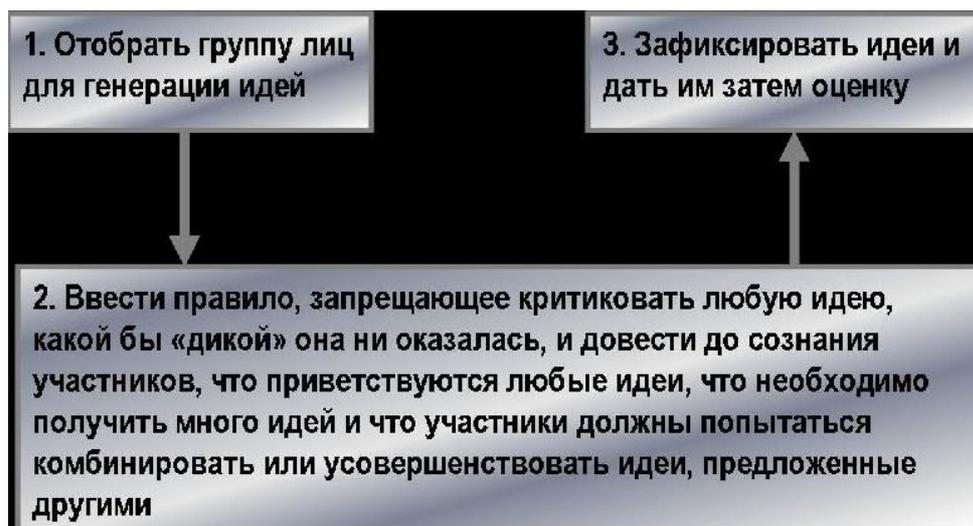


Рисунок 8.3 – Метод «мозговой атаки»

Метод подготовки и согласования представлений о анализируемом объекте, изложенных в письменном виде, получил название сценария. Первоначально этот метод предполагал подготовку текста, содержащего логическую последовательность событий или возможные варианты решения проблемы, упорядоченные во времени. Однако требование временных координат позднее было снято.

Сценарий не только предусматривает содержательные рассуждения, но и содержит результаты количественного анализа на основе статистики.

На практике по типу сценариев разрабатываются прогнозы в некоторых отраслях промышленности.



Рисунок 8.4 – Метод сценария

Термин «эксперт» происходит от латинского expert – «опытный».

При использовании экспертных оценок предполагается, что мнение групп экспертов надёжнее, чем мнение отдельного эксперта. При этом соблюдается следующие технологические экспертизы в процессе принятия решений:

- формирование цели экспертизы;
- разработка процедуры экспертизы;
- формирование групп экспертов;
- опрос;
- анализ и обработка полученной информации;
- принятие решения.

Более подробно экспертное оценивание и программные средства на его основе рассматриваются в дисциплине «Проектирование экспертных системы».

Метод Делфи (древнегреческий город) является развитием экспертного оценивания. В отличие от их метод предполагает полный отказ от коллективного обсуждения. Это делается для того, чтобы уменьшить влияние таких психологических факторов, как присоединение к мнению наиболее авторитетного специалиста, желание отказаться от публичного выражения мнения, следование

за мнением большинства.

В методе Делфи прямые дебаты заменены программой последовательных индивидуальных опросов, проводимых в форме анкетирования. Ответы обобщаются и поступают в распоряжение экспертов, после чего они уточняют первоначальные ответы. Такая процедура повторяется несколько раз до достижения приемлемой сходимости высказанных мнений.

Первое практическое применение метода Дельфа нашло в решении некоторых научных задач Министерства обороны США и показало свою эффективность.



Рисунок 8.4 – Метод Делфи

Термин «дерево целей» подразумевает использование иерархической структуры, полученной путем деления общей цели на подцели, а их, в свою очередь, на более детальные составляющие. Как правило, «дерево целей» используется для структур, имеющих отношение строгого порядка.

Для каждого уровня дерева целей вводится ряд критериев. С помощью экспертной оценки определяются веса критериев и коэффициенты значимости, характеризующие важность вида целей в обеспечении критериев высшего уровня.

Значимость некоторой цели определяется коэффициентом связи, представляющим сумму произведений всех критериев на соответствующий коэф-

фициент значимости.

Общий коэффициент связи некоторой цели определяется путем перемножения соответствующих коэффициентов связи в направлении вершины дерева.

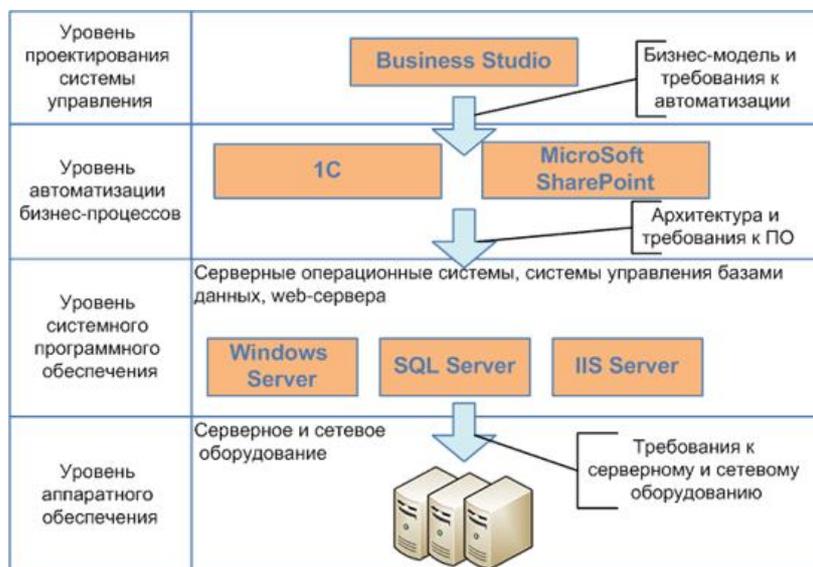


Рисунок 8.4 – Метод «дерево целей»

Основная идея морфологических методов – систематически находить все мыслимые варианты реализации системы (решение проблемы) путем комбинирования выделенных элементов или их признаков. Эти методы разработаны и впервые применены швейцарским астрономом Цвикки.

Существуют несколько методов морфологического исследования, один из которых получил наименование морфологического ящика, который предусматривает 5 этапов:

Этап 1 – точная формулировка поставленной проблемы.

Этап 2 – выделение показателей P_i , от которых зависит решение проблемы.

Этап 3 – сопоставление показателю P_i его значений P_i^k и сведение этих значений в таблицу, называемую морфологическим ящиком вида

$$\begin{Bmatrix} p_1^1 & p_1^2 & \dots & p_1^k \\ p_2^1 & p_2^2 & \dots & p_2^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_n^1 & p_n^2 & \dots & p_n^k \end{Bmatrix}$$

Набор значений различных показателей (по одному значению из каждой строки) представляют собой возможные альтернативы вида $p_i = \{p_i^1, p_i^2, \dots, p_i^k\}$. Такие наборы называются вариантами решений.

Этап 4 – оценка всех имеющихся в морфологической таблице вариантов.

Этап 5 – выбор из морфологической таблицы наиболее желательного варианта.

Морфологический метод нашел применение для анализа и разработки прогнозов в технике. Для автоматизированных систем, относящихся к классу организационных, морфологический ящик становится многогранным, что значительно усложняет обработку в процессе принятия решений.

§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 Какие методы относятся к методам качественного оценивания систем.
- 2 На каких этапах системного анализа используются качественные методы?
- 3 В чем состоит суть метода «мозговой атаки»?
- 4 В какой метод предполагает подготовку и согласование представлений о анализируемом объекте, изложенном в письменном виде ?
- 5 В каких отраслях применяется метод типа сценария?
- 6 В каком методе предполагается, что мнение групп экспертов надежнее, чем мнение отдельного эксперта?
- 7 В чем отличие метода Дельфи и метода экспертных оценок?
- 8 В чем состоит метод типа «дерево целей»?
- 9 В чем заключается основная идея морфологических методов?
- 10 Какие этапы включает в себя метод «морфологического ящика»?

Глава 4 Методы количественного оценивания систем

Количественные методы используются на завершающих этапах системного анализа для оценки вариантов системы (альтернатив).

§ 1 Общая характеристика количественных методов оценивания

Пусть исходная задача количественного оценивания систем формулировалась в терминах критерия превосходства вида:

$$K_i^{прев} \rightarrow \max y_i, \quad i = \overline{1, n} \quad (9.1)$$

Однако поскольку большинство частных показателей связанных между собой так, что повышение одного ведет к понижению другого, такая постановка была признана некорректной для большинства практических приложений.

Пример, пусть система передачи данных оценивается по двум показателям: y_1 – пропускная способность; y_2 – достоверность передачи данных.

Достоверность передачи данных достигается введением информационной избыточности (помехоустойчивое кодирование, алгоритмы восстановления после сбоев), которая приводит к снижению пропускной способности канала передачи данных. Поэтому формальная постановка задачи (9.1) некорректна.

Таким образом, наличие неоднородных связей между отдельными показателями приводит к проблеме корректности критерия превосходства.

Для решения указанной проблемы разработаны методы количественной оценки систем:

- методы векторной оптимизации;
- методы теории полезности;
- методы инженерии знаний.

Методы векторной оптимизации основаны на использовании функции свертки, т.е. многокритериальный вектор, выраженный через показатели исхода операции, заменяется скалярной величиной.

Методы теории полезности основаны на аксиоматическом использовании отношения предпочтения на множестве векторных оценок систем.

Методы инженерии знаний основаны на построении семиотических моделей оценки систем. В таких моделях система предпочтения ЛПР формализуется в виде набора логических правил, по которым осуществляется выбор альтернатив.

Общность подходов состоит в том, что оценивание систем по критериям производится с помощью шкал.

Пусть S_i – множество оценок по i -му критерию, A – системы, рассматриваемые как альтернативы.

Тогда множество векторных оценок альтернатив будем называть множеством $S = \{S_1, S_2, \dots, S_i\}$, а процесс присваивания векторных оценок альтернатив описывается отношением $\varphi : A \rightarrow S$.

§ 2 Принятие решений в условиях определенности

Оценивание систем в условиях определенности производится с использованием методов векторной оптимизации на основе шкал.

Пусть $K = \{k_1, k_2, \dots, k_l\}$ – векторный критерий, представляющий собой отображение

$$K(a) : A \rightarrow R^l$$

где $K(a)$ – векторная оценка альтернативы $a \in A$,

R^l – шкала всех действительных чисел.

Тогда общая задача векторной оптимизации формулируется следующим

образом

$$K(a) \rightarrow \underset{a \in A}{opt} K(a) \quad (9.2)$$

где opt – оператор оптимизации, определяющий семантику оптимальности.

Решением задачи (9.2) является множество

$$D = \{a \in A : a = \tau^{-1}[\underset{opt}{K}(a)]\}. \quad (9.3)$$

Реализация (9.3) осуществляется в 3 этапа:

- 1 На основе системного анализа определяются частные показатели качества и критерии эффективности системы.
- 2 Формулируется задача многокритериальной оптимизации в форме (9.2).
- 3 Путем скаляризации критериев устраняется многокритериальность.

Методы устранения многокритериальности задач принятия решений:

- 1 Выделения главного критерия.
- 2 Лексикографической оптимизации.
- 3 Последовательных уступок.
- 4 Свертывания векторного критерия в скалярный.
- 5 Агрегирование.

В методе **выделения главного критерия** ЛПР назначает один критерий главным, а остальные выводятся в состав ограничений, т.е. указываются границы, в которых эти критерии могут находиться.

Выражение (9.2) примет вид:

$$K(a) \rightarrow \underset{a \in A}{opt} K(a), \quad (9.4)$$

$$K_j \leq K_j^{don}, j \neq i, j = \overline{1, n}.$$

В методе **лексикографической оптимизации** предполагается, что критерии, составляющие векторный критерий K , могут быть упорядочены на основе отношения абсолютной предпочтительности.

При этом критерии нумеруются так, что наиболее важному из них соответствует номер 1. Тогда на первом шаге выбирается множество альтернатив $A_1 \subseteq A$, имеющих наилучшие оценки по первому критерию. Если A_1 единично, то решение принято. Если $|A_1| > 1$, то на втором шаге выбирается множество $A_2 \subseteq A_1$, имеющее наилучшие оценки по k_2 и так далее, пока не будет выявлена лучшая альтернатива. При поиске решения задачи (9.2) в описанной процедуре, как правило, будут использоваться не все, а лишь наиболее важные критерии, что не всегда может быть оправдано.

Поэтому в методе **последовательных уступок** для каждого из *проранжированных* по важности критериев назначается допустимое отклонение значения критерия от наилучшего. Затем на первом шаге производится построение подмножества альтернатив $A_1 \subseteq A$, для которых отклонение оценки по первому критерию от экстремального значения не превышает допустимого отклонения – «уступки». Далее строится подмножество $A_2 \subseteq A_1$ на основе второго критерия и его уступки и т.д.

При этом уступки назначаются таким образом, что бы было истинным высказывание

$$\left(\forall j \in N_{j-1} \right) \left(|A_j| > 1 \right),$$

поскольку превращение множества A_j на каком-либо шаге $j < I$ в одноэлементное или пустое приводит к невозможности оптимизации по остальным $I - j$ критериям.

Методы свертывания векторного критерия в скалярный. В этих методах задача (9.2) заменяется задачей вида

$$k(a) \rightarrow \text{extr}, \quad a \in A \quad (9.5)$$

где $k(a)$ – скалярный критерий, представляющий собой некоторую функцию от значений компонентов векторного критерия

$$k(a) = f(k_1(a), k_2(a), \dots, k_l(a))$$

Функция f называется **сверткой**.

Методика получения функции свертки распадается на 4 задачи:

- 1 Обоснование допустимости свертки.
- 2 Нормализация критериев для их сопоставления.
- 3 Учет приоритетов (важности) критериев.
- 4 Построение функции свертки, позволяющей решить задачу оптимизации.

Обоснование допустимости свертки. Требуется подтверждения, что рассматриваемые критерии являются однородными. Известно, что показатели эффективности разделяются на 3 группы: показатели результативности, ресурсоемкости и оперативности. Разрешается свертка показателей, входящих в обобщенный показатель для каждой группы отдельно. Нарушение этого принципа ведет к потере физического смысла критерия.

Нормализация критериев. Проводится подобно нормировке показателей, сущность которой изложена в лекции 4.

Учет приоритетов. Осуществляется путем задания вектора коэффициентов важности критериев

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l), \quad \sum_{i=1}^l \lambda_i = 1$$

где λ_i – коэффициент важности критерия k_i , обычно совпадающий с коэффициентом значимости частного показателя качества.

В результате нормализации и учета приоритетов критериев вместо исходной векторной оценки $k(a)$ альтернативы a образуется новая векторная оценка

$$k(a) = (\lambda_1 \cdot k_1(a), \lambda_2 \cdot k_2(a), \dots, \lambda_j \cdot k_j(a)).$$

Именно эта полученная оценка подлежит преобразованию с использованием функции свертки.

Построение функции свертки. Известны несколько способов свертки, использование которых зависит от характера критериев и целей оценивания. Наиболее часто используются аддитивная и мультипликативная свертки.

Аддитивная свертка компонентов векторного критерия состоит в представлении обобщенного скалярного критерия в виде суммы взвешенных нормированных частных критериев

$$k(a) = \sum_{i=1}^I \lambda_i \frac{k_i(a)}{k_i^0}. \quad (9.6)$$

Свертка (9.6) основана на использовании *принципа справедливой компенсации* абсолютных значений нормированных частных критериев. Суть принципа: справедливым следует считать компромисс, при котором суммарный уровень абсолютного снижения значения одного или нескольких показателей не превышает суммарного уровня абсолютного увеличения значений других показателей.

Недостатком данной методики является то, что низкие оценки по одним критериям могут компенсироваться высокими оценками по другим критериям.

Мультипликативная свертка компонентов векторного критерия состоит в представлении обобщенного скалярного критерия в виде произведения

$$k(a) = \prod_{i=1}^I k_i(a)^{\lambda_i}. \quad (9.7)$$

В этом критерии схема компромисса предполагает оперирование не с абсолютными, а относительными изменениями частных критериев.

Правомочность мультипликативного критерия основывается на *принципе справедливой относительной компенсации*: справедливым следует считать такой компромисс, при котором суммарный уровень относительного снижения значения одного или нескольких критериев не превышает суммарного уровня относительного увеличения значений других критериев.

В математической форме такое условие оптимальности имеет вид:

$$\sum_{i=1}^I \frac{\Delta k_i(a)}{k_i(a)} = 0$$

где $\Delta k_i(a)$ – приращение величины i -го критерия;

$k_i(a)$ – первоначальная величина i -го критерия.

Достоинством мультипликативного критерия является то, что при его использовании не требуется нормировка частных критериев.

Недостатки критерия: критерий компенсирует недостающую величину одного частного критерия избыточной величиной другого и имеет тенденцию сглаживать уровни частных критериев за счет неравнозначных первоначальных значений частных критериев.

Выбор между аддитивной и мультипликативной свертками частных критериев определяется степенью важности абсолютных или относительных изменений значений частных критериев соответственно.

Кроме свертки векторного критерия в теории векторной оптимизации особое место занимает **агрегирование**. Если из сущности задачи следует полная недопустимость компенсации значений одних показателей другими, т.е. требуется обеспечить равномерное подтягивание всех показателей к наилучшему уровню, то используют **функцию агрегирования** вида:

$$k(a) = \text{extr}_i \left\{ \frac{k_i(a)}{\lambda_i} \right\}, \lambda_i \neq 0 \quad (9.8)$$

Если из существа задачи следует, что одни показатели желательно увеличить, а другие уменьшить, то тогда используют **функцию агрегирования** в виде отношений одних показателей к другим, т.е.

$$k(a) = \frac{\prod_{i=1}^m k_i(a)}{\prod_{i=m+1}^I k_i(a)} \quad (9.9)$$

где $i = \overline{1, m}$ – номер показателя, значения которого желательно увеличить,
 $i = \overline{m+1, I}$ – номер показателя, значения которого желательно уменьшить

Часто первая группа показателей отождествляется с целевым эффектом, а вторая – с затратами на его достижение.

Рассмотренные группы методов представляют широкие возможности для анализа многокритериальных оценок в целях выявления наилучших альтернатив. Однако условия применимости тех или иных методов вследствие эвристического характера последних не могут быть сформулированы строго.

§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 Какие существуют методы количественной оценки систем?
- 2 Какие методы основаны на использовании функции свертки?
- 3 Какими методами решаются проблемы корректности критерия превосходства?

- 4 На чем основаны методы векторной оптимизации?
- 5 Каким образом происходит оценивание систем в условиях определенности?
- 6 Какие задачи включает в себя методика получения функции свертки?
- 7 В каком методе ЛПР назначает один критерий главным, а остальные выводятся в состав ограничений.
- 8 Перечислите методы устранения многокритериальности задач ПР.
- 9 Мультипликативная свертка это -...
- 10 Дайте определение аддитивной свертки.

Глава 5 Оценка сложных систем в условиях стохастической неопределенности

Решения, принимаемые в условиях стохастической неопределенности, называются вероятностными. Однозначность соответствия между альтернативами и исходами в вероятностных операциях нарушается. Например, из-за ограниченности пропускной способности сетевого оборудования время передачи сообщения может меняться случайным образом по известному закону.

Это означает, что каждой альтернативе a_i ставится в соответствие не один, а множество исходов $\{y_k\}$ с известными условными вероятностями их появления $P(y_k / a_i)$. Очевидно, оценивать системы данного типа так, как в детерминированных операциях, нельзя.

Известны несколько методов решения задачи принятия решений, основными из которых являются методы на основе теории рисков и теории полезности.

§ 1 Принятие решений в условиях риска

Принятие решений в условиях риска предполагает, что каждой альтернативе a_i , $i = \overline{1, m}$ соответствует свое распределение вероятностей на множестве

исходов $y_j, j = \overline{1, n}$. Если множества альтернатив и исходов конечно, то считаются известными вероятности всех исходов, возможных при выборе данной альтернативы.

Ситуации выбора альтернатив можно представить в виде матрицы в таблице 10.1, называемой матрицей решений.

Матрица решений интерпретируется следующим образом – решение a_i может реализовать различные исходы из соответствующей строки матрицы: $y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}$. Какой именно исход реализуется, зависит от значения параметра неопределенности z , который может иметь различный содержательный смысл.

Тогда задачу принятия решений в условиях риска можно представить в форме функции реализации вида

$$y = F(a, z). \quad (10.1)$$

Таблица 10.1 – Матрица решений

A	Z				
	z_1		z_j		z_n
A_1	y_{11}		y_{1j}		y_{1n}
a_i	y_{i1}		y_{ij}		y_{in}
a_m	y_{m1}		y_{mj}		y_{mn}

Представление задачи принятия решений в условиях риска в форме функции реализации означает, что статистическую неопределенность, проявляющуюся в неоднозначной (вероятностной) связи между средством и результатом, можно интерпретировать как существование некоторой среды, оказывающей влияние на результат.

Каждому состоянию среды z_j соответствует вероятность его наступления $p(z_j)$

$$p(z_j) = \prod_{i=1}^n p_i(y_j(a_i)), \quad (10.2)$$

где $p_i(y_j(a_i))$ - вероятность наступления исхода y_j при выборе альтернативы a_i

Тогда существует функционал $K: X \times Z \rightarrow R$ и задача принятия решений сводится задаче оптимизации

$$K(a, z) \rightarrow \underset{a \in A}{opt}. \quad (10.3)$$

Для задачи принятия решений при многократно реализуемым исходам используется математическое ожидание критерия (10.3) вида

$$K(a) = \overline{K(a, z)} = \underset{a \in A}{opt}. \quad (10.4)$$

Пример (задача о замене вратаря). На последних минутах хоккейного матча при ничейном счете тренер должен принять решение о замене вратаря 6-м полевым игроком. Имеется информация, что в аналогичных условиях предыдущих встреч замена вратаря в $1/6$ части случаев привела к выигрышу, в половине – к ничьей и в $1/3$ – к поражению. Если же вратарь не менялся, то в $7/8$ случаев встреча заканчивалась в ничью, а в $1/8$ части случаев команда проигрывала.

Матрица рисков примет вид, представленный в таблице 10.2.

Расчет параметра неопределенности (В – выигрыш, Н – ничья, П - поражение) по зависимости (10.2) примет вид:

$$z_1: a_1 \rightarrow B, a_2 \rightarrow H \quad p(z_1) = 1/6 \times 7/8 = 7/48$$

$$z_2: a_1 \rightarrow H, a_2 \rightarrow H \quad p(z_2) = 1/2 \times 7/8 = 7/16$$

$$z_3: a_1 \rightarrow \Pi, a_2 \rightarrow H \quad p(z_3) = 1/3 \times 7/8 = 7/24$$

$$z_4: a_1 \rightarrow B, a_2 \rightarrow \Pi \quad p(z_4) = 1/6 \times 1/8 = 1/48$$

$$z_5: a_1 \rightarrow H, a_2 \rightarrow \Pi \quad p(z_5) = 1/2 \times 1/8 = 1/16$$

$$z_6: a_1 \rightarrow \Pi, a_2 \rightarrow \Pi \quad p(z_6) = 1/3 \times 1/8 = 1/24$$

Таблица 10.2

A	Z					
	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6
a_1	B	H	Π	B	H	Π
a_i	H	H	H	Π	Π	Π

Тогда матрица риска примет вид, представленный в таблице 10.3 с учетом, что выигрыш дает 2 очка, ничья – 1, а поражение - 0.

Таблица 10.3

A	Z					
	z_1 (7/48)	z_2 (7 /16)	z_3 (7 /24)	z_4 (1 /48)	z_5 (1 /16)	z_6 (1 /24)
a_1	B(2)	H(1)	Π (0)	B(2)	H(1)	Π (0)
a_i)	H(1)	H(1)	H(1)	Π (0)	Π (0)	Π (0)

Решение принимается на основе зависимости (10.4).

$$\overline{K(a_1, z)} = 2 \cdot (7/48) + 1 \cdot (7/16) + 2 \cdot (1/48) + 1 \cdot (1/16) = 5/6,$$

$$\overline{K(a_2, z)} = 1 \cdot (7/48) + 1 \cdot (7/16) + 1 \cdot (1/24) = 7/8.$$

Поскольку $\overline{K(a_2, z)} > \overline{K(a_1, z)}$, руководствуясь критерием числа ожидаемых очков, принимается решение вратаря не менять.

В «среднем» такая стратегия приводит к успеху, хотя в каждом конкретном случае может реализоваться любой возможный исход.

§ 2 Принятие решений на основе функции полезности

В теории полезности исходят из того, что критерий эффективности предназначен для выявления предпочтений на альтернативах (исходах операций), что позволяет обеспечить обоснованный выбор решения. При этом полезность исхода операции – это действительное число, приписываемое исходу операции, которое характеризует его предпочтительность по сравнению с другими альтернативами относительно цели.

Отличие данного подхода состоит в том, что свертывание векторного критерия в скалярный производится на основе аксиоматизации предпочтений ЛПР. Естественные отношения порядка на шкальных значениях критериев здесь не используются, т.к. все компоненты векторного критерия на основе предпочтений ЛПР преобразуются в функции полезности компонентов и лишь затем осуществляется свертывание.

Зная возможные альтернативы с их показателями полезности, можно построить функцию полезности, которая дает основу для сравнения и выбора решений.

Функция полезности представляет собой числовую функцию $F(a)$, определенную на множестве альтернатив $A = \{a_k\}$, $k = \overline{1, l}$, так, что $F(a_i) = F(a_j)$, когда альтернативы a_i и a_j неразличимы ($a_i \sim a_j$); $F(a_i) > F(a_j)$, когда альтернатива a_i предпочтительнее a_j ($a_i > a_j$).

Примером построения $F(a)$ является функция, представленная на рисунке 10.1.

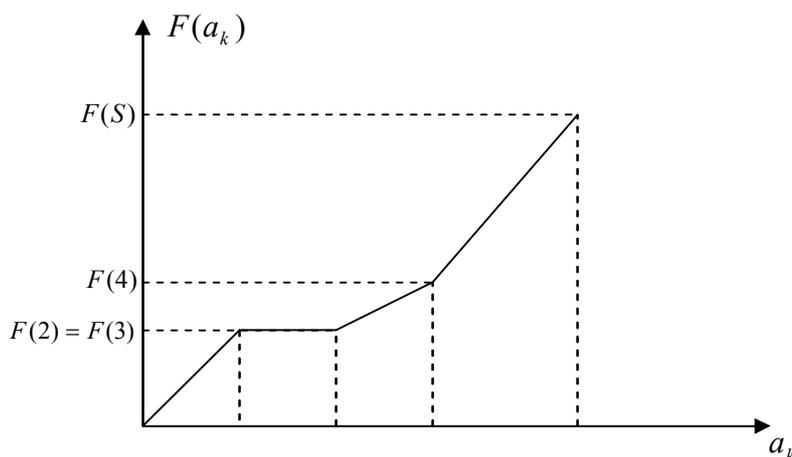


Рисунок 10.1 – Пример построения числовой функции $F(a)$

Задача принятия решений в вероятностных операциях определяется через математическое ожидание функции полезности на множестве исходов

$$K(a) = M_a [F(y)], \quad (10.5)$$

где $F(y)$ – функция полезности на множестве исходов y по альтернативам a .

При исходах y_k ($k = \overline{1, m}$) 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

$$K(a_i) = 1/m \sum_{k=1}^m p(y_k / a_i) \cdot F(y_k), \quad i = \overline{1, n}. \quad (10.6)$$

При исходах с непрерывными значениями показателей математического ожидания функция полезности определяется как

$$K(a_i) = \int_{R_g} f(y/a_i)F(y)dy, \quad (10.7)$$

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

R_g – допустимая область векторного пространства исходов.

Условия оценки альтернатив в случае, когда показатели исхода операций являются дискретными величинами, задаются таблично.

Таблица 10.4 Условия оценки альтернатив

a_i	y_k	$p(y_k/a_i)$	$F(y_k)$	$K(a_i)$
a_1	y_1	$p(y_1/a_1)$	$F(y_1)$	$K(a_1)$
	y_2	$p(y_2/a_1)$	$F(y_2)$	
	y_m	$p(y_m/a_1)$	$F(y_m)$	
a_2	y_1	$p(y_1/a_2)$	$F(y_1)$	$K(a_2)$
	y_2	$p(y_2/a_2)$	$F(y_2)$	
	y_m	$p(y_m/a_2)$	$F(y_m)$	

Критерий оптимальности для вероятностных операций имеет вид

$$K(a_i) = \max_{a_i} M_{a_i} [F(y)] = \max_{a_i} K(a_i), i = \overline{1, m}. \quad (10.8)$$

В соответствии с этим критерием оптимальной системой в условиях рис-

ка считается система с максимальным значением математического ожидания функции полезности на множестве исходов операции.

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

Пример. Оценка вариантов конфигурации гетерогенной ЛВС общего пользования. Исследуемая операция – обмен сообщениями между пользователями, система – вариант размещения сетевого оборудования, показатель исхода операции – число переданных сообщений n_k (дискретная величина).

Данные для оценки сводятся в таблицу 10.5.

Таблица 10.5

a_i	n_k	$P(n_k / a_i)$	$F(n_k)$	$K(a_i)$
Вариант 1	60	0,3	0,8	0,51
	40	0,5	0,5	
	20	0,2	0,1	
Вариант 2	60	0,25	0,8	0,515
	40	0,6	0,5	
	20	0,15	0,1	

$$K(a_1) = 1/3 \cdot (0,3 \cdot 0,8 + 0,5 \cdot 0,5 + 0,2 \cdot 0,1) = 0,17$$

$$K(a_2) = 1/3 \cdot (0,25 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 0,5 + 0,15 \cdot 0,1) = 0,172$$

$$K_{opt} = \max K(a_i) = K(a_2) = 0,172$$

Расчеты показывают, что в качестве оптимальной системы должен быть признан вариант 2.

В теории полезности доказывается существование функции полезности,

для которой предпочтения ЛПР формулируются в виде аксиом.

Основными аксиомами теории полезности является:

Аксиома 1 – измеримость (каждому альтернативному исходу y_k ($k = \overline{1, m}$) может быть поставлено неотрицательное действительное число p_i , ($0 \leq p_i \leq 1$) рассматриваемое как мера относительной полезности исхода.

Аксиома 2 – сравнимость (любые два исхода (альтернативы) сравнимы: либо один исход предпочтительнее другого, либо они эквивалентны).

Аксиома 3 – транзитивность (соотношения предпочтения исходов транзитивны, если исход a_i предпочтительнее a_j , а исход a_j предпочтительнее a_k , то исход a_i также предпочтительнее a_k . По эквивалентности аналогично)

Аксиома 4 – коммутативность (предпочтение исхода a_i исходу a_j не зависит от порядка, в котором они представлены).

Аксиома 5 – независимость (если исход a_i предпочтительнее исхода a_j и, кроме того существует исход a_k , который не оценивается относительно исходов a_i и a_j , то смесь исходов a_i и a_k предпочтительнее смеси исходов a_j и a_k).

Согласно теории полезности при выполнении в реальной задаче оценки систем всех пяти аксиом существует функция полезности, однозначно определенная на множестве всех альтернатив с точностью до монотонного строгого возрастающего линейного преобразования, т.е. полезность измеряется в шкале интервалов.

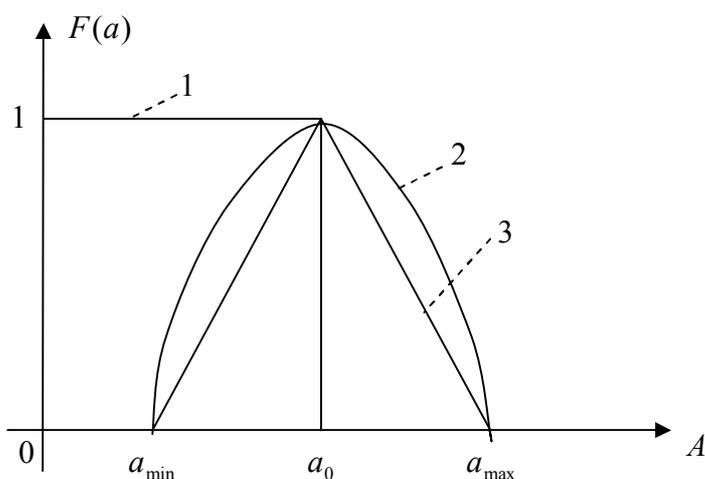
Процедура определения функции полезности включает в себя 3 этапа:

- выявление показателей исходов операции;
- определение множества допустимых исходов;
- определение показателей полезности исходов операции.

Определение полезности как меры оценки того или иного исхода операции представляет сложную задачу, точные методы решения которой пока не найдены. Все известные способы определения функции полезности носят приближенный характер. Такими способами являются экспертное оценивание и методы аппроксимации.

Определение функции полезности на основе аппроксимации заключается в

следующем. При рассмотрении исходов конкретной операции отыскиваются характерные точки, соответствующие, например, экстремумам функции полезности, а неизвестные значения между ними определяются некоторой известной зависимостью. Вид аппроксимации выбирается на основе имеющихся сведений или качественных соображений о показателе полезности исходов. На практике применяются многоступенчатые и другие сложные функции полезности. Наиболее простыми аппроксимациями являются одноступенчатое (1), косинусоидальное (2) и треугольное (3) представления функции полезности (см. рисунок 10.2).



1 – одноступенчатое, 2 – косинусоидальное, 3 – треугольное

Рисунок 10.2 – Представление аппроксимации полезности

Одноступенчатое представление функции полезности (1) может быть приемлемым для операций, в которых показателем исхода является срок выполнения работ. Например, подготовка презентации в ситуационном центре. В этом случае под исходами A понимается фактическое время готовности компьютерной презентации к работе. Очевидно, что полезность системы при $\alpha_i < a_0$ равна 1, а при $\alpha_i > a_0$ равна 0.

Косинусоидальное и треугольное представление функции полезности могут быть приемлемыми для операций, в которых показателями исхода является интервал времени, при этом функция полезности может быть представлена ли-

бо отрезком косинусоиды, либо треугольником.

Кроме оптимизации «в среднем» в вероятностных операциях используются и другие критерии оценки систем:

- максимум вероятности случайного события;
- максимум степени вероятностной гарантии достижения результата не ниже требуемого уровня;
- максимум среднего квадрата отклонения результата от требуемого;
- минимум дисперсии результата;
- минимум среднего (байесовского) риска (минимум средних потерь).

§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 Что представляет собой матрица решений?
- 2 Что такое полезность исхода операции?
- 3 Каким математическим выражением можно представить критерий оптимальности для вероятностных операций?
- 4 Сформулируйте аксиому измеримости?
- 5 В какой аксиоме предпочтение исхода a_i исходу a_j не зависит от порядка, в котором они представлены.
- 6 Сформулируйте аксиому независимости.
- 7 Что представляет собой функция полезности?
- 8 Как определить функцию полезности?
- 9 Какие критерии оценки систем используются в вероятностных операциях?

Глава 6 Принятие решений в статистически неопределенных ситуациях

Специфика автоматизированных систем не позволяет свести операции, проводимые этими системами к детерминированным или вероятностным в силу

наличия случайных процессов и отсутствия достаточной выборки для определения законов их распределения. Поэтому необходимы новые методы, позволяющие принимать решения в условиях полной неопределенности.

§ 1 Оценка сложных системы в условиях статистической неопределенности

Особенностями оценки сложных систем для принятия решений в условиях полной неопределенности являются:

1 Наличие в управляющей системе в качестве элемента ЛПР, осуществляющего управление на основе субъективных моделей, которые приводят к большому разнообразию поведения системы.

2 Алгоритм управления строит сама система управления, преследуя помимо целей старшей системы свои цели, не всегда совпадающие с внешними.

3 На этом этапе оценки ситуации в ряде случаев исходят не из фактической ситуации, а из той модели, которую использует ЛПР.

4 В процессе принятия решений большую роль играют логические рассуждения ЛПР, не поддающиеся формализации классическими методами математики.

5 При выборе управляющего воздействия ЛПР может оперировать нечеткими понятиями, отношениями и высказываниями.

6 В большинстве классов задач управление в автоматизированных информационных системах отсутствуют объективные критерии оценивания достижения целевого и текущего состояния объекта управления, а также статистических данных для определения вероятностных законов конкретного принятого решения.

Таким образом, методы принятия решений, используемые для детерминированных и вероятностных решений, для данного класса задач неприменимы.

Поэтому для оценки систем в условиях полной неопределенности используются методы, в основе которых лежит матрица эффективности (см. таблицу 11.1)

Таблица 11.1 – Матрица эффективности

a_i	n_j				$K(a_i)$
	n_1	n_2	...	n_k	
a_1	k_{11}	k_{12}		k_{1k}	
a_2	k_{21}	k_{22}		k_{2k}	
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	
a_m	k_{m1}	k_{m2}		k_{mk}	

где a_i – вектор управляемых параметров, определяющих свойства системы (альтернативы);

n_j – вектор неуправляемых параметров, определяющих состояния обстановки;

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

$K(a_i)$ – критерий эффективности альтернативы.

В зависимости от характера неопределенности операции делятся на игровые и статистические.

В игровых операциях неопределенность вносит своими сознательными действиями противник (теория игр).

Условия статистически неопределенных операций зависят от объективной действительности (природы). Природа пассивно по отношению к лицу, принимающему решение. Методы принятия решений в этих условиях относятся к теории статических решений.

§ 2 Методики принятия решений на основе критериев предпочтения лица принимающего решения

Если операция, проводимая системой, уникальна, то для разрешения неопределенности при оценке систем используют субъективные предпочтения ЛПР.

В зависимости от характера предпочтений ЛПР в неопределенных операциях используют критерии:

- 1 – среднего выигрыша;
- 2 – Лапласа;
- 3 – осторожного наблюдателя (Вальда);
- 4 – максимакса;
- 5 – пессимизма – оптимизма (Гурвица);
- 6 – минимального риска (Сэвиджа).

1 Критерий среднего выигрыша. Данный критерий предполагает задание вероятностей состояния обстановки P_i . Эффективность системы оценивается как среднее ожидаемое значение (МОЖ) оценок эффективности по всем состояниям обстановки

$$K(a_i) = \sum_{j=1}^l P_j k_{ij} \quad i = \overline{1, m}, \quad (11.1)$$

Оптимальной системе будет соответствовать альтернатива, критерий оптимальности которой примет вид

$$K^{opt} = \max_i \sum_{j=1}^l P_j k_{ij}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (11.2)$$

2 Критерий Лапласа. В основе критерия лежит предположение – поскольку о состоянии обстановки ничего не известно, то их можно считать равновероятностными.

Следовательно,

$$K(a_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^l k_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (11.3)$$

Оптимальной считается система, критерий оптимальности которой принимает вид

$$K^{onm}(a_i) = \max_i \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^l k_{ij} \right). \quad (11.4)$$

Таким образом, критерий Лапласа – частный случай критерия среднего выигрыша.

3 Критерий Вальда (максиминный критерий). Он гарантирует определенный выигрыш при наилучших условиях.

Критерий основывается на том, что если состояние обстановки неизвестно, нужно поступать самым осторожным образом.

В каждой строке матрицы эффективности находится минимальная из оценок системы по различным состояниям обстановки.

$$K(a_i) = \min_j k_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, l}. \quad (11.5)$$

Оптимальной считается система из строки с максимальным значением коэффициента $K(a_i)$

$$K^{onm} = \max_i \left(\min_j k_{ij} \right), \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, l}. \quad (11.6)$$

Данный критерий ориентирован на решение, не содержащее элементов риска. Такая осторожность в ряде случаев является недостатком.

4 Критерий максимакса. Этим критерием предписывается оценивать системы по максимальному значению эффективности и выбирать в качестве оптимального решения обследующую систему, эффективность которой имеет наибольший из максимумов:

$$K(a_i) = \max_j k_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, l}. \quad (11.7)$$

$$K^{onm} = \max_i \left(\max_j k_{ij} \right), \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, l}. \quad (11.8)$$

Это самое оптимистическое решение. При этом риск максимальный.

5 Критерий Гурвица. Согласно данному критерию при принятии решений не разумно проявлять как осторожность, так и азарт, а принимать промежуточную позицию. Для этого вводится коэффициент оптимизма α ($\alpha = \overline{0, 1}$), характеризующий отношение к риску ЛПР. Эффективность решений находится как взвешенная с помощью коэффициента α сумма максимальной и минимальной оценок.

$$K(a_i) = \alpha \max_j k_{ij} + (1 - \alpha) \min_j k_{ij}. \quad (11.9)$$

Условия оптимальности записывается в виде

$$K^{onm} = \max_j (\alpha \max_j k_{ij} + (1 - \alpha) \min_j k_{ij}). \quad (11.10)$$

6 Критерий Сэвиджа минимизирует потери эффективности при наихудших условиях.

Для оценки решений матрица эффективности преобразуется в матрицу потерь (риске). Каждый элемент матрицы потерь определяется как разность между максимальным и текущим значениями оценок эффективности в столбце:

$$\Delta K_{ij} = \max_i k_{ij} - k_{ij}. \quad (11.11)$$

После преобразования матрицы используется критерий минимакса

$$K(a_i) = \max_j \Delta k_{ij}, \quad (11.12)$$

$$K^{onm} = \min_i (\max_j \Delta k_{ij}). \quad (11.13)$$

Таким образом, эффективность решений в условиях неопределенности может быть оценена по ряду критериев.

ЗАДАНИЕ: Разработать программное средство поддержки принятия решений по выбору одного из трех программных продуктов a_i для борьбы с одним из четырех типов программных воздействий k_j .

Исходная таблица эффективности (таблица 11.2) и сравнительные результаты оценки систем по критериям в условиях полной неопределенности (11.1 – 11.13) представлены в таблице 11.3.

Таблица 11.2

a_i	k_{mn}				$K(a_i)$
	k_1	k_2	k_3	k_4	
a_1	0,1	0	0,3	0,2	
a_2	0	0,2	0,2	0	
a_m	0,1	0,1	0	0,1	

Таблица 11.3

	$K(a_i)$					
	С	Ла	Ва	М	Гу	Сэв.
В	п.	л.	М	р.		
1	0,2	0,2	0,1	0,5	0,3	0,3
25			0,2	0,4	4	0,2
8	0,2	0,2	0,1	0,4	0,3	0,1
75					2	
	0,2	0,3			0,2	

	5				8	
--	---	--	--	--	---	--

Результаты оценки эффективности систем свидетельствует, что использование различных критериев может привести к различным результатам. Поэтому применимость критериев должна определяться целью решения задачи выбора.

§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 На какие два вида делятся операции?
- 2 В каких операциях неопределенность вносит противник своими сознательными действиями?
- 3 Какие критерии может использовать ЛПР в неопределенных операциях?
- 4 Какой критерий гарантирует определенный выигрыш при наилучших условиях?
- 5 По какой формуле рассчитывается K^{opt} для критерия Лапласа?
- 6 Какое предположение лежит в основе критерия Лапласа?
- 7 В чем суть критерия Гурвица?
- 8 Какой из критериев минимизирует потери эффективности при наихудших условиях?
- 9 В каком из критериев в качестве оптимального решения выбирается то, эффективность которого имеет наибольший из максимумов?
- 10 По какой формуле рассчитывается K^{opt} для критерия Сэвиджа?

ЧАСТЬ III ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ

Глава 1 Основы организационно-технического управления

В теории управления принято считать, что системы с управлением создаются для достижения конкретных целей, которые определяются в рамках других наук, занимающихся исследованием конкретных систем. В зависимости от природы объекта управления принято выделять три типа систем с управлением:

- организационные (социальные) системы управления;
- технические системы управления;
- организационно-технические системы управления.

Рассмотрим основные положения по управлению в организационно-технических системах, опираясь на базовые понятия.

§ 1 Задачи организационно-технического управления

Общая структурная схема системы с управлением представлена на рисунке 1.1 (см. лекцию 1).

Управляющая система реализует задачи целеполагания, стабилизации, выполнения программы, слежения или оптимизации и тем самым обеспечивает либо удержание выходных характеристик системы при изменениях внешней среды в требуемых пределах, либо выполнение системой действий по изменению значений ее характеристик или характеристик внешней среды.

Объект управления (ОУ) является исполнительным инструментом, реализующим основную функцию системы.

Система связи, являясь частью системы управления, обеспечивает обмен управляющей информацией между управляющей системой и объектом управления.

Задачами теории управления при таком рассмотрении являются:

- синтез структуры и параметров объекта управления, соответствующих цели (закону функционирования) создаваемой системы с управлением;
- синтез структуры и параметров управляющей системы, т.е. построение

структуры управления с учетом ограничений по затратам различного вида (численность управленческого персонала и др.); определение мест размещения центров обработки информации; определение массивов информации, подлежащих передаче, хранению и обработке;

- синтез структуры и параметров системы связи.

Единых методов решения перечисленных задач для всех типов систем на настоящее время не существует. Однако для всех типов систем с управлением признается существование ряда аксиом и принципов управления, знание которых позволяет квалифицированно решать задачи управления.

§ 2 Аксиомы теории управления

Для управления необходимо выполнение ряда естественных условий, которые сформулированы в виде аксиом.

Аксиома 1. Наличие *наблюдаемости объекта управления*. В теории управления ОУ считается наблюдаемым в состоянии $z(t)$ на множестве моментов времени T при входном воздействии $x(t)$ и отсутствии возмущений, если уравнение наблюдения динамической системы, представленное в виде

$$y^*(t) = g[t, x(t), z^*(t)], \quad (12.1)$$

где $y^*(t)$ - некоторая реализация выходного процесса, доступная для регистрации, имеет единственное решение

$$z^*(t) = z(t) \in Z .$$

Если это утверждение справедливо для любого $z(t) \in Z$, то объект считается полностью наблюдаемым.

Это выражение означает, что определение любого из состояний ОУ (т.е. его

наблюдаемость) реализуется только в том случае, если по результатам измерения выходных переменных $y^*(t)$ при известных значениях входных переменных $x(t)$ может быть получена оценка $z^*(t)$ любой из переменных состояния $z(t)$.

Такая задача в теории систем известна как *задача наблюдения*. В организационно-технических системах управления эта задача реализуется функцией *контроля* текущего состояния ОУ и воздействий внешней среды. Без этой информации управление или невозможно, или неэффективно.

Аксиома 2. Наличие *управляемости* – способности ОУ переходить в пространстве состояний Z из текущего состояния в требуемое под воздействиями управляющей системы. Под этим можно понимать перемещение в физическом пространстве, изменение скорости и направления движения в пространстве состояний, изменение структуры или свойств ОУ. Если состояние ОУ не меняется, то понятие управления теряет смысл.

Аксиома 3. Наличие *цели управления*. Под целью управления понимают набор значений количественных или качественных характеристик, определяющих требуемое состояние ОУ.

Если цель неизвестна, управление не имеет смысла, а изменение состояний превращается в бесцельное блуждание. Цель отображается точкой, в которую надо перевести систему из существующего состояния, или траекторией перевода ОУ в требуемое состояние в виде, например, аддитивной свертки

$$\max F = \sum_{i=1}^n a_i y_i, \quad (12.2)$$

с ограничениями типа

$$\sum_{i=1}^n b_i y_i \leq c, \quad (12.3)$$

где y_i – i -я характеристика;

a_i – важность (вес) i -й характеристики;

b_i – расход ресурсов на поддержание i -й характеристики в требуемом состоянии;

c – общее количество ресурсов.

Аксиома 4. Свобода выбора – возможность выбора *управляющих воздействий (решений)* из некоторого множества допустимых альтернатив. Чем меньше это множество, тем менее эффективно управление, так как в условиях ограничений оптимальные решения часто остаются за пределами области адекватности. Если имеется единственная альтернатива, то управление не требуется. Если решения не влияют на изменение состояния ОУ, то управления не существует.

Аксиома 5. Наличие *критерия эффективности управления*. Обобщенным критерием эффективности управления считается степень достижения цели функционирования системы.

Кроме степени достижения цели качество управления можно оценивать по частным критериям: степени соответствия управляющих воздействий требуемым состояниям ОУ, качеству принимаемых решений, точности управления. Для оценки систем управления военного назначения вводятся требования к управлению по показателям устойчивости, непрерывности (длительности цикла управления), оперативности и скрытности.

Аксиома 6. Наличие *ресурсов* (материальных, финансовых, трудовых и т.д.), обеспечивающих реализацию принятых решений. Отсутствие ресурсов равносильно отсутствию свободы выбора. Управление без ресурсов невозможно.

§ 3 Принцип необходимого разнообразия Эшби

Из аксиом управления следует, что управление заключается в ограничении разнообразия состояний управляемого объекта. Это означает, что энтропия объекта управления должна быть равна нулю $H(Y) = 0$. Иными словами, неопределенность относительно состояний объекта управления в управляющей системе

должна полностью отсутствовать и объект управления должен находиться в строго определенном состоянии с вероятностью, равной единице.

Если управляемый объект характеризуется одним показателем качества y^l и может находиться в n состояниях $y_1^l, y_2^l, \dots, y_n^l$ с вероятностями $p(y_1^l), p(y_2^l), \dots, p(y_n^l)$, то сообщение Y о том, в каком из состояний находится объект в системе с полной информацией, будет содержать количество информации, равное его энтропии

$$H(Y) = - \sum_{i=1}^n p(y_i^l) \log_2 p(y_i^l), \quad (12.4)$$

Для оценки состояний объекта, характеризуемого m показателями качества y^j , требуется провести суммирование и по j , $j = 1, 2, \dots, m$.

Энтропия $H(Y)$ является мерой первоначальной неопределенности состояния объекта управления. Чем больше число различных состояний объекта и чем меньше отличаются друг от друга их вероятности, тем больше энтропия объекта управления. При n равновероятных состояниях $p_i = 1/n$ значение энтропии максимально: $H(Y)_{\max} = \log_2 n$.

С получением сведений об объекте управления неопределенность его состояния для управляющей системы уменьшается. Количество взаимной информации в сообщениях, предназначенных для уточнения состояния (уменьшения энтропии) объекта управления, определяют как разность:

$$I(Y, Y') = H(Y) - H(Y/Y'), \quad (12.5)$$

где $H(Y/Y')$ - условная энтропия объекта после получения сообщения Y' .

Если полученное сообщение полностью характеризует состояние объекта, то оно полностью снимает неопределенность ($H(Y/Y')=0$) и несет количество

информации, равное $H(Y)$.

Из теории информации также известно, что количество информации обладает двумя важными свойствами: положительностью и симметричностью. Первое свойство свидетельствует о том, что количество информации всегда больше или равно нулю ($I \geq 0$). Согласно второму свойству количество взаимной информации $I(A, B)$, которое содержит принятое сообщение о посланном, равно количеству взаимной информации $I(B, A)$, которое содержит посланное сообщение о принятом

$$I(A, B) = I(B, A). \quad (12.6)$$

Указанные характеристики информации позволяют провести анализ управляющих воздействий относительно их соответствия состояниям управляемого объекта. Иначе, определить пределы управления.

Пусть существует система с управлением, в которой решается задача стабилизации - поддержание заданного состояния при случайных воздействиях внешней среды. Система описывается множеством возможных состояний объекта управления $Y = \{y_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, и множеством возможных управляющих воздействий $i = 1, 2, \dots, m$.

Для определения пределов управления рассмотрим три возможных варианта:

- 1 Отсутствие Управления.
- 2 Идеальное управление (управление с полной информацией).
- 3 Реальное управление (управление с неполной информацией).

1 *Отсутствие управления.* Если управление отсутствует, то управляемый объект может принимать любое из состояний Y и характеризуется максимальной энтропией

$$H(Y) = -\sum_{i=1}^n p(y_i) \log_2 p(y_i) = H(Y)_{\max}. \quad (12.7)$$

2 *Идеальное управление.* Если управление идеальное, управляемый объект

будет все время находиться в заданном состоянии с вероятностью, равной единице, и поэтому энтропия управляемого объекта равна нулю.

Проиллюстрируем это утверждение. Пусть для заданной системы при условии воздействий X вероятность первого состояния $p(y_1)$, а вероятности остальных состояний $\sum_{i=2}^n p(y_i) = 0$.

Следовательно,

$$\begin{aligned} H(Y / X) &= -\{p(y_1) \cdot \log_2 p(y_1)\} + \left\{ \sum_{i=2}^n p(y_i) \cdot \log_2 p(y_i) \right\} = \\ &= -\{1 \cdot \log_2 1\} + \left\{ 0 \cdot \sum_{i=2}^n \log_2 p(y_i) \right\} = -\{1 \cdot 0\} + \{0\} = 0. \end{aligned} \quad (12.8)$$

3 Реальное управление. При управлении в реальных условиях имеют место отклонения состояния управляемого объекта относительно заданного. Это определяется тем, что управляющая система в общем случае подвержена внешним воздействиям, не обладает полной информацией о состоянии среды N и объекта управления $Y (N' \subset N \text{ и } Y' \subset Y)$. Это приводит к тому, что управляющие воздействия не полностью соответствуют требуемым воздействиям. В этом случае можно сделать вывод, что энтропия объекта управления в реальных условиях может изменяться в пределах

$$0 < H(Y / X) < H(Y)_{\max} .$$

Качество управления может определяться количеством взаимной информации $I(X, Y)$ в управляющих воздействиях X относительно состояний управляемого объекта Y , вычисляемой как разность между безусловной и условной энтропией

$$H(Y)_{\max} - H(Y / X) = I(X, Y) \quad (12.9)$$

что соответствует уменьшению энтропии управляемого объекта на величину, равную полученной информации.

С другой стороны, количество взаимной информации $I(X, Y)$ в управляющих воздействиях X относительно состояний управляемого объекта Y может быть выражено как разность энтропии управляющей системы $H(X)$ и условной энтропии управляющей системы после получения сообщения о состоянии управляемого объекта $H(X/Y)$:

$$I(X, Y) = H(X) - H(X/Y) \quad (12.10)$$

Подставив выражение (12.2) в правую часть выражения (12.3), получим

$$H(Y)_{\max} - H(Y/X) = H(X) - H(X/Y). \quad (12.11)$$

После переноса $H(Y)_{\max}$ из левой части выражения (12.3) в правую часть и замены знаков получим

$$H(Y/X) = H(Y)_{\max} - H(X) + H(X/Y) \quad (12.12)$$

Выражение (9.12), определяющее предельные возможности управления, показывает, что для повышения качества управления, т.е. уменьшения энтропии $H(Y/X)$, необходимо:

- уменьшать разнообразие состояний управляемого объекта $H(Y)$;
- увеличивать разнообразие управляющих воздействий $H(X)$, приближая его к разнообразию состояний управляемого объекта $H(Y)$;
- уменьшать неоднозначность управляющих воздействий относительно состояний объекта управления $H(X/Y)$, что возможно при наличии полной информации об управляемом объекте и внешней среде.

Иными словами, *нужно стремиться к тому, чтобы на каждое возможное состояние управляемого объекта имелось свое управляющее воздействие, чтобы существовала возможность использования управляющих воздействий в зависимости*

от состояния, и чтобы всякий раз обеспечивался выбор того воздействия, которое соответствует состоянию объекта управления. Выражение (12.4) отражает фундаментальный принцип кибернетики, известный как принцип необходимого разнообразия (принцип У. Росса Эшби) и формулируемый кратко так: «Разнообразие управляющей системы должно быть не меньше разнообразия объекта управления».

Согласно данному принципу с увеличением сложности объекта управления сложность управляющей системы должна увеличиваться. При управлении нужно располагать возможно более точной и полной информацией об управляемом объекте и внешней среде.

Из этого принципа следует, что энтропию объекта управления (многообразие состояний регулируемых переменных) можно понизить до желаемого уровня (что и является целью регулирования), только увеличив энтропию управляющей системы (многообразие регулирующих переменных).

Принцип утверждает, что производительность любого физического устройства как регулятора не превышает его производительности, как канала связи.

К сожалению, условная энтропия $H(Y/X)$ не может считаться исчерпывающей характеристикой качества управления даже в теоретическом плане. Дело в том, что значение энтропии зависит лишь от распределений вероятностей, но не от самих значений случайной величины. Между тем довольно часто более важны сами значения случайных отклонений, а не их вероятности. Кроме того, возможности управления ограничиваются и некоторыми другими факторами, например временем обработки информации в управляющем объекте и передачи ее по каналам прямой и обратной связи.

§ 4 Вопросы и задания для самоконтроля

1. Сформулируйте аксиому *наблюдаемости объекта управления*?
2. Управляемость это -...
3. Что понимают под *целью управления*?
4. В каких случаях управление не имеет смысла?

5. Наличие *чего* обеспечивает реализацию принятых решений?
6. Что такое энтропия?
7. От чего зависит энтропия?
8. Каким образом можно определить пределы управления?
9. При каком управлении управляемый объект будет всегда находиться в заданном состоянии с вероятностью равной единице.

Глава 2 Описание основных функций организационно-технического управления

Управление заключается в преобразовании информации состоянии объекта управления в командную информацию.

Информация как любой объект обладает: содержанием; формой; пространственным и временным положением.

При таком рассмотрении управление заключается:

- в преобразовании содержания (смысла) информации о состоянии объекта управления, в результате которого получают новую информацию;
- преобразовании формы;
- преобразование пространственного или временного расположения информации.

§ 1 Классификация процессов управления

Проведем классификацию составных частей процесса управления с учетом того, что существует два принципа классификации: принцип разбиения и принцип покрытия.

Принцип разбиения состоит в том, что все исследуемое множество M разбивается на непересекающиеся подмножества M_1, M_2, \dots, M_n , называемые классами эквивалентности, так, что

$$M = \bigcup M_i \text{ и } M_i \cap M_j = 0, i \neq j.$$

Принцип покрытия заключается в таком задании подмножеств M_i , что имеется хотя бы одна пара подмножеств M_i и M_j , в которой

$$M_i \cap M_j \neq 0, \text{ но } \bigcup M_i = M, i \neq j.$$

Подмножества M_i в этом случае называются классами толерантности.

Классифицировать функции управления на основе принципа разбиения нецелесообразно, так как они связаны между собой и выполнение одной из них почти всегда ведет к одновременному выполнению других.

Поэтому, используя принцип покрытия, будем рассматривать процесс управления с учетом того, что он содержит множество функций преобразования информации, включающее три известных подмножества функций:

$\{f_0\}$ - подмножество функций, связанных с обменом информацией между ЛПР (передача сигналов оповещения, текстовой и графической информации, телефонные переговоры), и функция обмена данными;

$\{f_p\}$ - подмножество рутинных функций управления (учёт, хранение, поиск, отображение, обновление, редактирование, тиражирование текста и графики, разграничение доступа к информации);

$\{f_c\}$ - подмножество функций преобразования содержания и формы представления информации (расчеты, решение логических задач для анализа состояния ОУ, при подготовке предложений для принятия решений, при разработке планирующих и распорядительных документов).

При этом процесс управления включает в себя функции всех подмножеств, но основным является подмножество $\{f_c\}$, так как преобразования содержания обеспечивают порождение новой информации - решений по управлению.

§ 2 Содержательное описание функций управления

Управление в организационно-технических системах можно представить как последовательность функций, составляющих технологический цикл управления.

Под *функцией управления* понимают устойчивую упорядоченную совокупность операций, основанную на разделении труда в управляющей системе.

Основоположником функционального подхода в управлении считается А. Файоль. Он выделил пять функций управления: предвидение, организация, распорядительская деятельность, координация (согласование) и контроль. Одновременно А. Файоль разделил все функции на шесть групп: производство, финансы, охрана, учет, администрирование, техника безопасности.

В настоящее время к основным функциям управления относят: сбор данных; формирование сообщения; передачу данных по каналам связи; учет; контроль; анализ; прогнозирование; планирование; оперативное управление; организацию и координацию; доведение решений.

Для учета человеческого фактора в отдельную группу выделяют функции *стимулирование и мотивация*.

Рассмотрим определения и взаимосвязь основных функций в форме функциональной модели цикла управления (рис. 13.2).

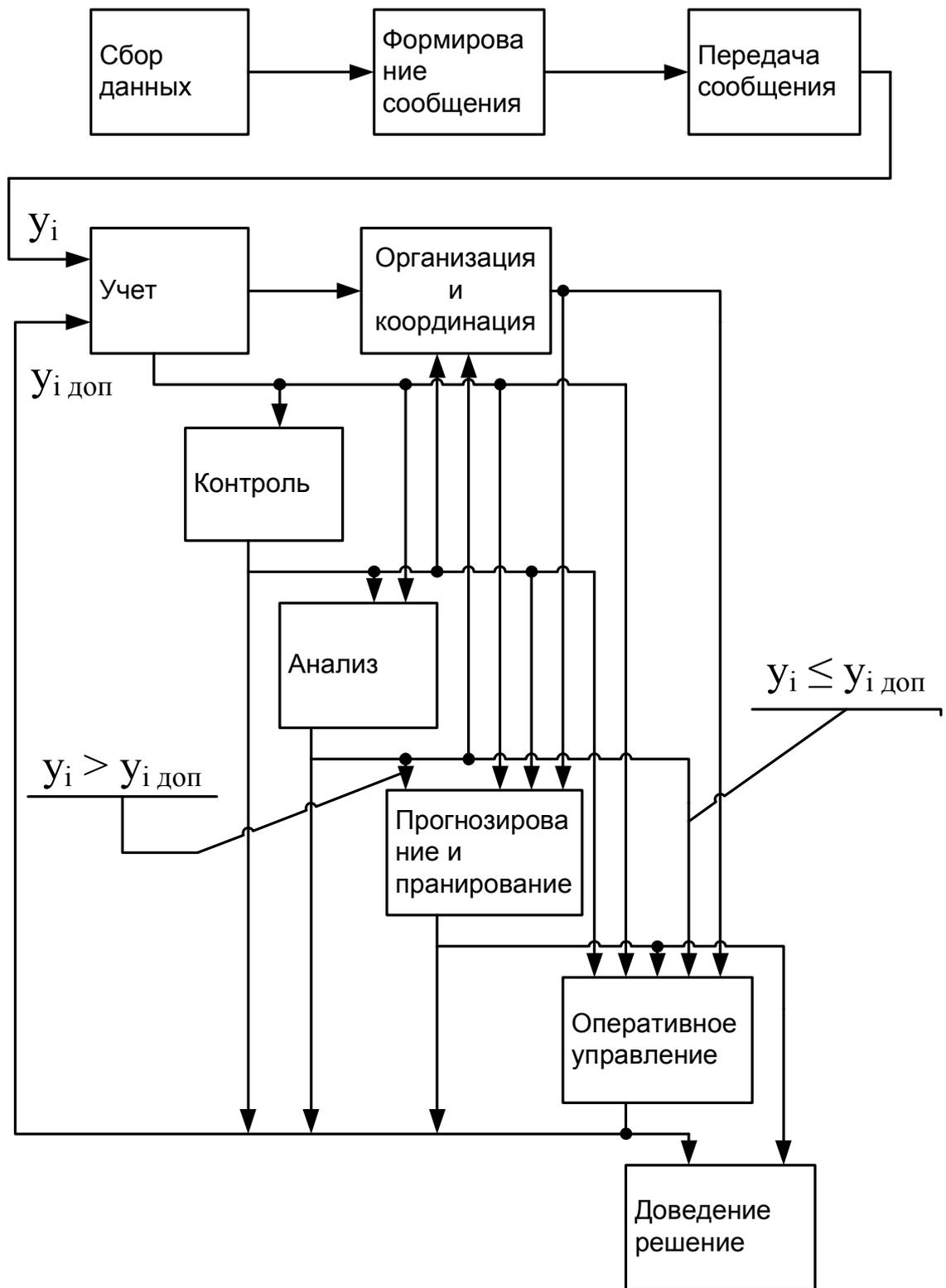


Рисунок 13.2 – Функциональная модель цикла управления

Сбор данных - функция измерения характеристик y_i выполняемая в объекте управления вручную или автоматически. Модели процессов измерения изучаются

в метрологии.

Формирование сообщения (запроса) - преобразование информации к виду, пригодному для передачи по каналам связи в управляющую систему и/или обработки в автоматизированном режиме. Модели функций формирования сообщений рассматриваются в теории информации, теории баз данных.

Передача данных по каналам связи - осуществляется разными способами, в том числе с использованием средств автоматизации. Главными требованиями к передаче данных являются: своевременность, достоверность и безопасность обмена информацией. Модели функций передачи данных рассматриваются в теории информации.

Учет - система функций, обеспечивающих хранение информации. Включает ввод-вывод, регистрацию, преобразование формы, поиск, отображение, тиражирование, классификацию, статистическую обработку, выборку, получение агрегированных данных, обеспечение конфиденциальности и целостности информации. Модели функций учета изучаются в теории баз данных.

Контроль - система функций, обеспечивающих определение состояния ОУ (измерение, сбор, уточнение данных об объекте управления) и оценку степени отклонения текущего состояния от требуемого по заданным критериям эффективности (оценку соответствия состояния системы требуемому).

С английского языка control переводится как управление и часто термин «контроль» используется вместо термина «управление». Это объясняется тем, что все функции управления включают элементы контроля. Мы будем выделять эту функцию, так как для ее автоматизации требуется формальная постановка задач *наблюдения, классификации и идентификации* состояния ОУ.

В зависимости от объекта контроля в эту функцию включают, например, измерение и оценку достоверности, точности, объема, своевременности представления данных, прохождения и исполнения документов; решение задач информационной безопасности.

Различают три вида контроля: предварительный, текущий и заключительный.

Предварительный контроль проводится до начала цикла управления для

оценки ресурсов ОУ и внешних воздействий.

Текущий, или оперативный, контроль осуществляется на продолжении всего цикла управления в целях обнаружения отклонений от требуемого состояния.

Заключительный контроль предназначен для оценки степени достижения цели в конце цикла управления.

Функция *анализа* в общем случае зависит от его цели. Мы будем понимать под этой функцией средство, обеспечивающее объяснение причин отклонений состояния системы от требуемого и обоснование решения на переход к оперативному управлению или планированию. Например, пусть объект управления характеризуется параметром y_i , который изменяется в пределах Δy_i . Если в результате анализа выяснено, что $\Delta y_i \leq \Delta y_{i\text{доп}}$, где $\Delta y_{i\text{доп}}$ - допустимое отклонение, то в цикле управления осуществляется переход к оперативному управлению. Если $\Delta y_i > \Delta y_{i\text{доп}}$, то осуществляется переход к функции планирования. Анализ часто в отдельную функцию не выделяется, а рассматривается совместно с контролем как составная часть других функций управления.

Функция *прогнозирования* - это средство снятия неопределенности относительно возможной структуры, свойств или закона функционирования системы в будущем. Типичными целями прогнозирования могут служить:

- замедление процесса «старения» принимаемых решений и предупреждение неблагоприятных ситуаций, в которых может оказаться организационно-техническая система. Решение по управлению, основанное на правильном прогнозе, не потребует изменять в ближайшем будущем, т.е. один вопрос не потребует решать дважды;

- повышение производительности системы с управлением, адаптация к изменяющимся условиям (предсказание ветвлений в суперскалярных микропроцессорах ЭВМ, предсказание будущих значений сигнала в системах связи).

Во всех случаях прогноз - это научно обоснованное суждение о возможных состояниях системы в будущем и/или об альтернативных путях и сроках достижения целевого состояния.

Прогноз позволяет получить совокупность возможных вариантов развития

системы. Однако реализованные варианты зависят не от прогноза, а всегда определяются конкретными решениями, принимаемыми в системе управления, и имеющимися ресурсами. Так, оптимистический прогноз может не состояться, если ЛПР не предпринимает мер по его реализации. В свою очередь, правильные решения могут смягчить последствия пессимистического прогноза.

Прогнозы могут быть разделены на группы по периодам упреждения и по методам прогнозирования.

По периодам упреждения - промежутку времени, на который рассчитан прогноз, различают оперативные (текущие), кратко-, средне- и долгосрочные прогнозы. Оперативный прогноз, как правило, рассчитан на период времени, в течение которого объект управления существенно не изменяется, краткосрочный - на перспективу количественных изменений. Среднесрочный прогноз охватывает период времени, когда количественные изменения преобладают над качественными, долгосрочный - перспективу качественных изменений системы.

Функция *планирования* состоит в последовательном снятии неопределенности относительно требуемой структуры, свойств, закона функционирования системы или внешней среды. Включает задачу принятия решений по целеполаганию (ЗПР_ц) и задачу принятия решения по действиям (ЗПР_д) - совокупность процедур по определению требуемого (целевого, оптимального) состояния системы и действий по достижению этого состояния, объединенных в единый процесс. Осуществляется при изменении условий функционирования ОУ: целей планирования, воздействий внешней среды, препятствующих оперативному управлению, и др.

В терминологии менеджмента ЗПР_ц называют *стратегическим* или *перспективным* планированием, а ЗПР_д - *тактическим* или *текущим* планированием.

На стадии стратегического планирования рассматриваются необходимость и возможность изменения структуры, свойств или закона функционирования системы.

Тактическое планирование заключается в принятии решения по выбору траектории перевода системы в новое состояние. При этом определяются действия ОУ, порядок использования ресурсов, решается задача оптимизации с учетом предполагаемых воздействий внешней среды. Детально прорабатываются средства

и способы достижения целей, использования ресурсов, необходимые процедуры и технология. Характеристики системы считаются заданными и учитываются как ограничения.

Точную границу между стратегическим и тактическим планированием провести трудно. Обычно стратегическое планирование охватывает в несколько раз больший промежуток времени, чем тактическое; оно имеет гораздо более отдаленные последствия, шире влияет на функционирование управляемой системы в целом и использует более мощные ресурсы.

Оперативное управление обеспечивает функционирование системы в рамках действующего плана. Заключается в решении задач стабилизации, слежения или выполнения программы управления. Иногда в эту функцию включают задачу оптимизации. Планирование и оперативное управление являются задачами содержательной обработки информации.

Математические модели функций содержательной обработки информации разрабатываются с использованием теории принятия решений. Решения, принятые при планировании или оперативном управлении, учитываются в блоке учета и доводятся до объекта управления. После этого начинается новый цикл управления, в котором текущее состояние объекта управления сравнивается с требуемым, и в зависимости от величины отклонений управляемых характеристик Δu_i от допустимых отклонений $\Delta u_{i, \text{доп}}$ осуществляется переход к оперативному управлению или планированию.

Функция *организации* заключается в установлении постоянных и временных связей между всеми элементами системы, в определении порядка и условий их функционирования, в объединении компонентов и ресурсов системы таким образом, чтобы обеспечить эффективное достижение намеченных целей.

Функция организации выполняет:

- группировку функциональных элементов и ресурсов в организационные структуры;
- распределение степени ответственности ЛПР в иерархии подсистем управления.

Функция *координации* - это согласование действий подсистем в соответствии с целями системы с управлением и поддержание этого согласования на протяжении цикла управления. Наличие нескольких ОУ и подсистем управления приводит к противоречию между их частными целями. Это, в свою очередь, приводит к разобщенности действий. Устранение этих противоречий - основная задача координации. Функцию координации иногда рассматривают совместно с организацией в рамках задач оперативного управления или планирования.

Модели координации и организации разрабатываются в общей теории систем, в теории принятия решений, на основе теории расписаний, в частности, с использованием методов сетевого планирования и управления.

§ 3 Вопросы и задания для самоконтроля

1. На какие два принципа классифицируется процесс управления?
2. В чем состоит *принцип разбиения*?
3. В чем состоит *принцип покрытия*?
4. Что понимают под функцией управления? Что она в себя включает?
5. Поясните функциональную модель цикла управления.
6. Что включает в себя функция *анализа*?
7. Что включает в себя функция *прогнозирования*?
8. В чем заключается тактическое и стратегическое планирование?
9. Дайте определение понятию *сбор данных*.
10. Дайте определение понятию *контроль данных*?
11. Какие виды контроля существуют.
12. В чем заключается функция организации.

Глава 3 Модели основных функций организационно-технического управления

§ 1 Модель общей задачи принятия решений

Процесс принятия решений как функции преобразования содержания информации формализуется в терминах теории принятия решений. Центральными понятиями в теории принятия решений являются:

Ω - универсальное множество вариантов, альтернатив из которых осуществляется выбор;

X - предъявление, множество альтернатив, предъявленных для выбора ($X \subseteq \Omega$);

Y - множество выбранных альтернатив, в частности одна ($Y \in X$);

C - принцип выбора (функция выбора), правило, по которому осуществляется выбор наилучшей альтернативы, $Y = C(X)$.

Функция выбора может задаваться поэлементно или в виде графика какой-либо зависимости, или как целостное множество, удовлетворяющее некоторым условиям. Часто в задачах принятия решений используют понятие механизма выбора.

$$M = \langle \delta, \pi \rangle$$

Здесь δ - совокупность сведений, позволяющая сопоставлять варианты или группы вариантов.;

π - правило выбора. Это инструкция, указывающая, как, используя структуру δ , выделить из X подмножество Y .

δ представляет собой структуру на множестве альтернатив. Задастся в виде бинарных отношений, например, сходства, превосходства, несравнимости, отношений предпочтения, графа и другими способами

В зависимости от степени формализации введенных понятий различают три типа задач принятия решений (таблица 14.1).

Таблица 14.1 - Типы задач принятия решений

Тип задачи принятия решений	Ω	C
Задача оптимального выбора	Однозначно определено	Строго формализован
Задача выбора	Однозначно определено	Не формализован
Общая задача принятия решений	Может дополняться	Не формализован

1 Задача оптимального выбора. Множество альтернатив $\{\Omega\}$ однозначно определено и принцип выбора C строго формализован. Для решения таких задач используются, например, аналитические методы, методы исследования операций, специальные методы оптимального выбора. Примером задач данного вида являются многокритериальные задачи оптимального управления.

Получаемые решения не зависят от субъективных мнений ЛПР, являются наилучшими (из возможных) для заданных условий, поэтому и называются оптимальными. Однако при изменении условий решение становится неоптимальным. Это ограничивает возможности приведения реальных задач к данному виду, поскольку учесть все факторы, влияющие на решение, в рамках данной задачи невозможно.

2 Задача рационального выбора. Множество альтернатив $\{\Omega\}$ однозначно определено, но принцип выбора C не может быть формализован. В этом случае выбор зависит от того, кто и на какой основе его делает. При решении таких задач обычно используются имитационное моделирование, методы экспертных оценок, теория полезности. Получаемые решения не могут считаться оптимальными. Но они признаются рациональными.

3 Общая задача принятия решений (ОЗПР). Множество альтернатив может дополняться и видоизменяться, а принцип выбора C не формализован. В этом случае даже один и тот же человек может изменять свое решение при обнаружении новой альтернативы.

Такие задачи наиболее характерны для решения проблем в сложных системах.

При этом **под общей задачей принятия решения** понимают ситуацию, когда требуется вначале сформировать множество альтернатив, затем из множества альтернативных решений выделить некоторое подмножество, в частном случае - одну альтернативу.

Выбор альтернатив производится на основе представления ЛПП об их качестве, для чего требуется сформулировать принцип выбора.

Формально модель ОЗПР можно представить в следующем виде:

$$\text{ОЗПР: } \langle T, I_{\text{вх}}, I_{\text{вых}}, I_{\text{реш}}, P, C \rangle,$$

где T – цель принятия решения (например, выбор альтернативы или упорядочение множества альтернатив);

$I_{\text{вх}}$ - исходные данные для порождения альтернатив;

$I_{\text{вых}}$ – множество порожденных альтернатив;

$I_{\text{реш}}$ – выбранная альтернатива;

P – правило порождения альтернатив;

C – правило выбора наилучшей альтернативы.

Исходные данные для порождения альтернатив и множество порожденных альтернатив для ОЗПР могут включать детерминированную, вероятностную и неопределенную информацию.

Правила порождения и выбора альтернатив могут быть представлены в форме аналитических, логических, эвристических решающих правил, в том числе как скалярные, векторные, составные критерии.

Графически структура ОЗПР представляется в виде последовательности правил порождения и выбора альтернатив, обеспечивающих преобразование исходных данных в решение (рисунок 14.1).

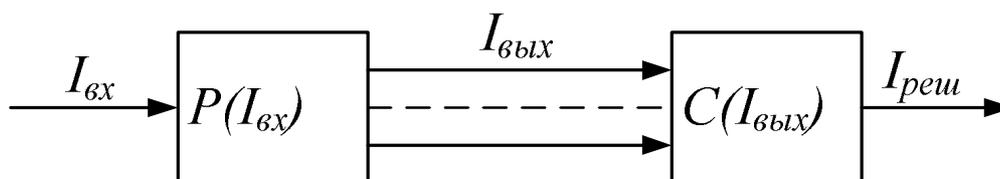


Рисунок 14.1 – Структура общей задачи принятия решений

ОЗП относятся к слабоструктурированным задачам. В настоящее время для их решения интенсивно создаются методы обработки знаний (логико-лингвистического моделирования) в рамках новой научной дисциплины - **инженерии знаний**. Такие методы обеспечивают преобразование данных и вывод допустимых решений, как в аналитической форме, так и в форме выражений естественного языка. При этом используются все известные теоретические модели представления: $I_{вх}$, $I_{вых}$, $I_{реш}$, P , C , а также не формализуемый опыт специалистов-практиков.

§ 2 Модель функции контроля

Задача контроля объекта управления включает решение трех частных задач: задачи наблюдения, классификации и идентификации (распознавания образов).

Решение **задачи наблюдения** заключается в отыскании такого отображения

$$g^{-1} : Y \rightarrow Z ,$$

которое каждой наблюдаемой реализации выходных характеристик Y ставит в однозначное соответствие внутреннее состояние ОУ Z . Это означает, что для контроля требуется обеспечить потенциальную наблюдаемость внутренних состояний ОУ по внешним признакам.

Решение задачи классификации состоит в отыскании такого отображения

$$\varphi : Y \rightarrow E,$$

которое обеспечивает разбиение всего множества возможных реализаций выходных характеристик Y на ограниченное число классов E , обладающих теми или иными общими свойствами (видов агрегированных состояний ОУ). Определенные заранее такие агрегированные состояния играют роль своеобразных эталонов для распознавания реальных состояний объекта в процессе его контроля. В процессе анализа каждому классу состояний ставится в соответствие определенное решение по управлению объектом.

Решение задачи идентификации заключается в отыскании такого отображения

$$\psi : E \rightarrow S,$$

которое определяет оптимальную в некотором смысле оценку состояния ОУ S_i по реализации входных x и выходных y сигналов объекта. Наблюдаемое реальное состояние объекта идентифицируется путем отождествления его с одним из заданных агрегированных состояний E . Другими словами, задача идентификации состоит в нахождении методов, с помощью которых для каждого конкретного состояния S_i требуется найти класс E , к которому оно относится. Иногда эту задачу называют задачей распознавания образов.

§ 3 Модель функции планирования

Планирование представляет собой процесс последовательного снятия неопределенности относительно структуры и характеристик объекта управления, разделенного на два подпроцесса.

Первый - это последовательность процедур преобразования, позволяющая получить факты, характеризующие требуемое состояние ОУ - перечень и множест-

во допустимых значений характеристик этого объекта. Иначе говоря, здесь формируется структура и диапазон значений выходных характеристик (решается ЗПР_ц).

Второй подпроцесс реализует выбор конкретного значения характеристик и способ достижения этого состояния (решается ЗПР_д).

В основе модели процесса планирования лежит понятие рекурсии.

Примером использования рекурсии может служить вычисление факториала:

$$4! = 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24.$$

Это выражение с учетом того, что $0! = 1$, можно обобщенно записать в виде примитивной рекурсии как совокупность из $n-1$ функций вычитания, умножения, подстановки и одной функции константы:

$$N! = \begin{cases} N_i(N_i - 1), & i = \overline{1, N-1}; \\ N_N = 1 \end{cases}$$

Для приведенного примера процедура рекурсивного вычисления факториала представлена на рисунок 14.2.

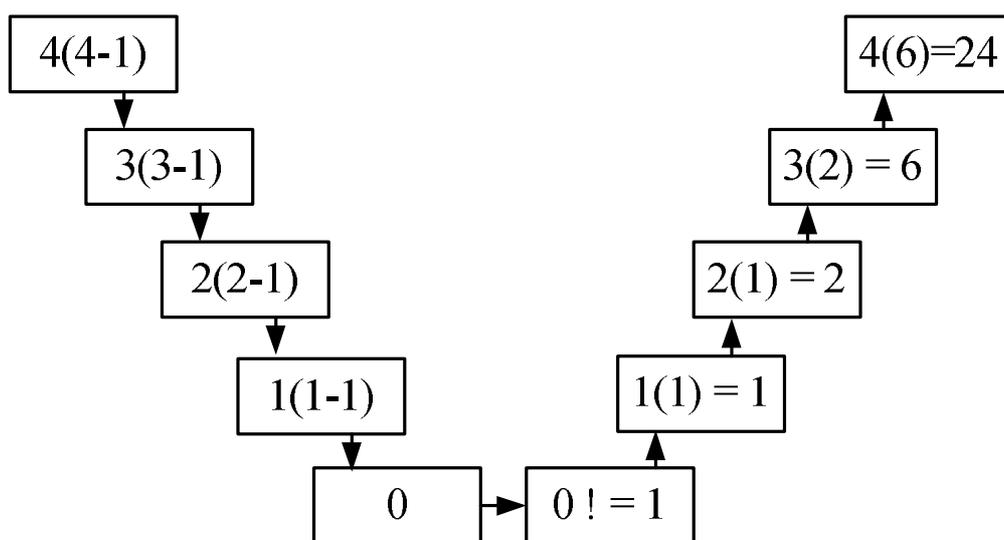


Рисунок 14.2. - Рекурсивная процедура вычисления факториала

Чтобы доказать общерекурсивность функции, надо построить систему равенств, рекурсивно определяющих эту функцию, или указать метод получения такой системы.

Очевидно, что построить систему равенств для процесса планирования, как неформализованного в алгебраическом смысле, невозможно. Однако, используя идею рекурсивности относительно описания общей функции конечной последовательностью вхождений ограниченного числа базовых функций для их объединения в общий процесс, можно модель планирования представить следующими выражениями:

$$P_{пл} = \langle I, F \rangle; \quad (14.1)$$

$$P_{пл} = I_{вх} \rightarrow I_{реш}; \quad (14.2)$$

$$\text{ОЗПР} = \langle T, I_{вх}, I_{вых}, I_{реш}, P, C \rangle; \quad (14.3)$$

$$I_{реш} = C\{P(I_{вх}) \rightarrow \exists I_{вых}\}. \quad (14.4)$$

Выражение (14.1) описывает структуру процесса планирования $P_{пл}$ и означает, что планирование рассматривается как множество, где I - информационный компонент, описывающий текущие решения и сведения, используемые для их получения в форме ОЗПР; F - процедурный компонент, включающий функции обмена информацией $f_o(t)$, рутинные функции $f_p(t)$ и функции преобразования содержания информации $f_c(t)$.

Функции преобразования содержания информации $f_c(t)$ включают:

- $r(t)$ - расчетные процедуры;
- $l(t)$ - логические процедуры;
- $e(t)$ - эвристики.

Под *эвристикой* понимают отличный от алгоритмического метод решения задач, основанный на неформальных правилах опытных специалистов, обеспечи-

вающий уменьшение объема вычислений или получение результата, когда алгоритмические методы бесполезны.

Выражение (14.2) характеризует процесс планирования, заключающийся в преобразовании информации о состоянии ОУ в командную информацию.

Выражение (14.3) формализует первоначальные функции - компоненты процесса планирования в терминах теории принятия решений.

Выражение (14.4) формализует непосредственно зависящие функции содержательного преобразования информации.

В каждом конкретном процессе планирования эти процедуры образуют некий рекурсивный механизм получения решений, изоморфный любым задачам планирования.

При этом структура ОЗПР, как непосредственно зависящей процедуры, представляется в виде последовательности первоначальных функций P и C . Отдельные операции, входящие в такую процедуру, могут изменяться, но в целом процедура ориентирована на формирование конкретных решений, приемлемых в данной ситуации. Для каждого принимаемого решения, несмотря на отсутствие некоторых правил вывода или исходных фактов, следует существование совокупности правил, обеспечивающих его принятие, и это решение не пусто.

При таком представлении структура процесса планирования может быть показана как рекурсивная процедура (рисунок 14.3).

Из рисунка 14.3 видно, что процесс планирования состоит из ряда этапов, обеспечивающих решение ОЗПР соответствующего уровня.

Этапы планирования упорядочиваются по степени детализации информации. На первом этапе информация представляется в виде абстрактного перечня целей функционирования системы, на последнем этапе - в виде конкретных данных по распределяемым ресурсам и по функциям ОУ, направленным на достижение целевого состояния.

Дополнительно на каждом уровне процесса могут быть введены обратные связи, учитывающие влияние принятых решений на процесс формирования и выбора альтернатив.

Количество уровней рекурсии (этапов планирования) определяется в каждой системе с управлением отдельно. При планировании связи из неподготовленных районов такими этапами, например, являются: уяснение задачи, оценка обстановки, принятие решения по структуре системы связи, детальное планирование (определение параметров, мест размещений узлов связи, времени на развертывание, требуемых средств и т.д.).

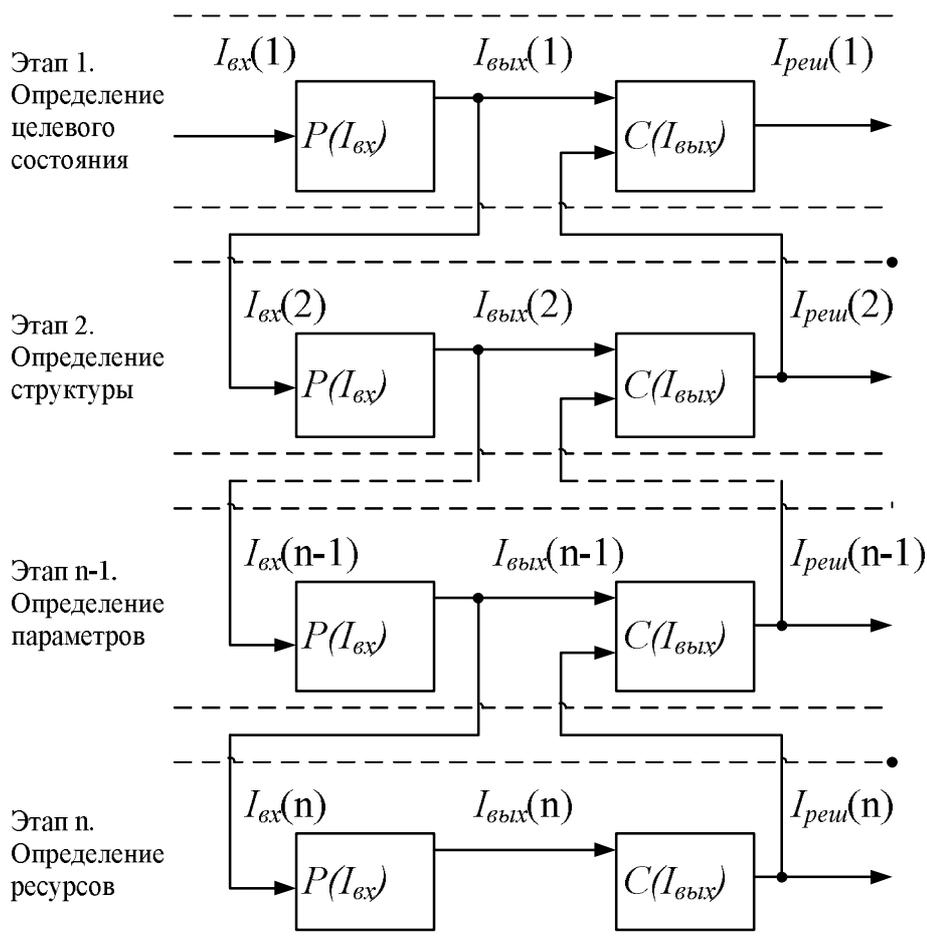


Рисунок 14.3 – Структура процесса планирования как рекурсивная процедура

§ 4 Вопросы и задания для самоконтроля

1 Какие множества являются центральными понятиями в теории принятия решений?

- 2 Какие различают типы задач принятия решений?
- 3 Что понимают под общей задачей принятия решения?
- 4 Множеством какого вида можно формально описать модель ОЗПР?
- 5 В чем заключается решение задачи наблюдателя?
- 6 В чем заключается решение задачи классификации?
- 7 В чем заключается решение задачи идентификации?
- 8 Что лежит в основе модели процесса планирования?
- 9 Что представляет собой процесс планирования?

Глава 4 Методы прогнозирования

Методы прогнозирования основываются на предположении о сохранении в будущем существующих закономерностей развития или на предстоящих качественных изменениях системы.

В первом случае для краткосрочных и среднесрочных прогнозов (планирования) используются методы экстраполяции.

Во втором случае, как правило, для долгосрочных прогнозов – методы искусственного интеллекта или теории катастроф

Методы экстраполяции относятся к аналитическим методам прогнозирования состояния систем. Примером экстраполяции служит прогнозирование значений какой-либо величины по имеющимся данным. В качестве исходной информации при этом берутся **временные ряды** динамики параметров системы - набор наблюдений некоторых числовых характеристик (параметров) системы, взятых в равноотстоящие или неравноотстоящие моменты времени за определенный период.

Средства искусственного интеллекта опираются на методы качественного оценивания систем. Примером применения подобных методов являются экспертные системы.

§ 1 Экстраполирование

В основе методов экстраполяции лежит понятие интерполирования. Известно, что **интерполированием** называется процесс вычисления промежуточных значений функции на основании заданного ряда значений этой функции. В широком смысле слова интерполирование - это представление некоторой функции известного или неизвестного вида, ряд значений которой при определенных значениях независимой переменной задан при помощи другой, более простой функции.

Пусть $y = f(x)$ будет функцией, заданной рядом значений $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$, которые она принимает при значениях $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ независимой переменной x , и пусть $\varphi(x)$ обозначает произвольную более простую функцию, принимающую для $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ те же самые значения, что и $y = f(x)$. Замена $y = f(x)$ в пределах данного интервала на $\varphi(x)$ и есть интерполирование.

Формула $y = \varphi(x)$, которая при этом получается для вычисления значений y , называется интерполяционной формулой.

Функция $\varphi(x)$ может иметь различный вид. Когда $\varphi(x)$ есть полином, процесс замещения $f(x)$ через $\varphi(x)$ называется параболическим, или **полиномиальным интерполированием**. Когда $\varphi(x)$ есть тригонометрический полином, процесс называется **тригонометрическим интерполированием**. Функция $\varphi(x)$ может быть также составлена из показательных функций, полиномов Лежандра, функцией Бесселя и т.д.

В практических задачах в качестве $\varphi(x)$ выбирается простейшая функция, могущая заменить данную функцию на рассматриваемом интервале. Так как самой простой функцией является полином, почти все основные интерполяционные функции являются полиномиальными. В случае когда известно, что данная функция $f(x)$ периодична, лучше заменить ее тригонометрическим полиномом.

Теоретическое обоснование замены данной функции полиномом или тригонометрическим полиномом опирается на две замечательные теоремы, доказанные **Вейерштрассом** в 1885 г. Эти теоремы можно сформулировать так.

Теорема 1. Любая непрерывная в интервале (a, b) функция может быть заменена в нем с любой степенью точности полиномом.

Другими словами, можно найти такой полином $P(x)$, что $|f(x) - P(x)| < \varepsilon$ для каждого значения x в интервале (a, b) , причем ε есть любая положительная величина.

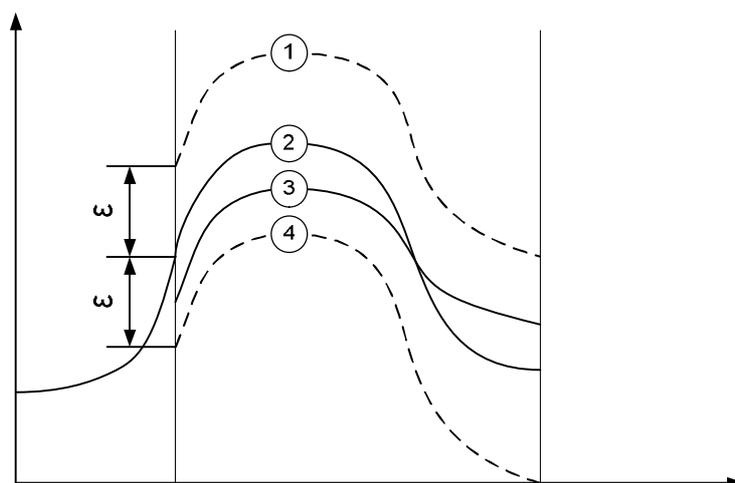
Теорема 2. Любая непрерывная с периодом 2π функция может быть заменена тригонометрическим полиномом вида

$$g(x) = a_0 + a_1 \sin x + a_2 \sin 2x + \dots + a_n \sin nx + a_1 \cos x + a_2 \cos 2x + \dots + a_n \cos nx$$
 так, что $|f(x) - g(x)| < \varepsilon$ для каждого значения x в рассматриваемом интервале, причем ε есть любая положительная величина.

Геометрический смысл этих теорем состоит в том, что если нанести графики функций $y = f(x)$, $y = f(x) + \varepsilon$ и $y = f(x) - \varepsilon$, то можно найти многочлен или тригонометрический многочлен, график которого будет находиться внутри области, ограниченной кривыми $y = f(x) + \varepsilon$ и $y = f(x) - \varepsilon$ при всех значениях x между a и b , как бы мало ни было ε (рис. 13.1).

При таком представлении процесса интерполирования становится понятно, что **экстраполирование** - это процесс вычисления значения функций, находящегося за пределами ряда заданных значений.

Экстраполирование нужно применять с осторожностью. Но если известно, что функция около концов данного ряда значений изменяется плавно, и если Δx берется достаточно малым, то можно спокойно экстраполировать на расстояние Δx за пределами ряда имеющихся значений.



1 – верхнее ограничение $y = f(x) + \varepsilon$; 2 - функция $y = f(x)$;
 3 - полином $y = P(x)$; 4 - нижнее ограничение $y = f(x) - \varepsilon$

Рисунок 15.1 – Интерполирование функции полиномом:

Для проведения интерполирования существует ряд формул, рассматриваемых в численных методах математического анализа. При их применении в прогнозировании следует учитывать, что если число точек $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ неограниченно возрастает, то интерполирующий полином превращается в бесконечный ряд, называемый интерполяционным рядом. И подобно тому как степенной ряд сходится внутри и расходится во вне некоторого определенного интервала, так и интерполяционный ряд сходится к заданной функции внутри некоторого интервала и перестает к ней сходиться вне его.

Поскольку увеличение периода упреждения прогноза Δx влечет за собой увеличение степени неопределенности процессов развития системы, то в методах экстраполяции выделяют статистические методы.

§ 2 Методы вероятностного прогнозирования

Методы вероятностного прогнозирования опираются на теорию вероятностей, математическую статистику и теорию случайных процессов.

К этим методам прогнозирования относят:

– **методы многофакторного анализа** (регрессионные модели, адаптивное сглаживание, метод группового учета аргументов, имитационные модели, многомерная фильтрация и др.);

– **методы однофакторного прогнозирования** (экспоненциальное сглаживание, метод скользящего среднего, метод разностных уравнений, спектральные методы, метод Марковских цепей, оптимальные фильтры, сплайн функции, метод авторегрессии и др.).

Теория случайных процессов имеет дело с исследованием структуры семейств случайных величин X_t , где t - параметр, принадлежащий множеству T . Случайные процессы, у которых $T = [0, \infty)$, особенно важны для прогнозирования. При этом t интерпретируется как время. Реализацией, или выборочной функцией, случайного процесса $\{X_t, t \in T\}$ является функция, ставящая в соответствие каждому $t \in T$ одно из возможных значений X_t . Множество параметров T может быть дискретным, а $\{X_t\}$ может при этом представлять исходы последовательных испытаний, таких, как результаты бросаний монеты, последовательность состояний системы при различных воздействиях и др.

Весьма важным примером случайного процесса, непрерывного по времени $T = [0, \infty)$, является **пуассоновский процесс**. Его выборочная функция X_t представляет собой число регистрации наступления некоторого события за период от 0 до текущего момента времени t . Очевидно, всякая возможная реализация X_t есть неубывающая ступенчатая функция. Общее число наступлений события возрастает только единичными скачками, а $X_0 = 0$. Конкретными примерами наблюдаемых величин, образующих подобного рода процессы, являются число телефонных вызовов из данного района, число происшествий на данном перекрестке, число ошибок на странице машинописного текста т.д. Свойствами пуассоновских процессов являются:

– независимость числа наступлений события в некотором интервале от числа поступлений этого события в любом другом, не пересекающемся с ним

интервале;

– вероятность того, что за период времени h произойдет, по меньшей мере, одно событие, есть $p(h) = ah + o(h)$, $h \rightarrow 0$, $a > 0$, причем $g(t) = o(t)$ при $t \rightarrow 0$ означает, что $\lim g(t)/t = 0$;

– вероятность того, что за время h произойдут два или более событий, есть $o(h)$, что означает невозможность одновременного появления двух и более событий.

Если перечисленные условия выполняются, то в качестве прогноза может быть получена вероятность $P_m(t)$ того, что за время t произойдет ровно m событий. Эта вероятность равна

$$P_m(t) = \frac{a^m t^m}{m!} e^{-at},$$

где a - параметр процесса, причем $p(h)/h \rightarrow a$.

В частности, среднее число наступления события за время t равно at .

Модель пуассоновских процессов совместно с порядковыми статистиками используется для решения задачи о баллотировке (выборах). Многомерные пуассоновские процессы используются в астрономии.

Одной из основных моделей случайных процессов, используемой в прогнозировании, является модель **Марковских цепей**. Такими моделями описывается большое количество физических, биологических, экономических, технических и других явлений.

Дискретная Марковская цепь представляет собой Марковский случайный процесс, пространство состояний которого счетно или конечно. Кроме того, множество индексов $T = (1, 2, 3 \dots)$.

Марковский процесс - это процесс, обладающий тем свойством, что если известно значение случайной величины X_t , то значения X_s , $s > t$ не зависят от

X_u , $u < t$, другими словами, вероятность любого события, связанного с будущим поведением процесса при условии, что его настоящее состояние точно известно, не изменится, если учесть дополнительную информацию относительно прошлого этого процесса.

Формально процесс является Марковским, если

$$P\{a < X_t \leq b | X_{t_1} = x_1, X_{t_2} = x_2, \dots, X_{t_m} = x_m\} = P\{a < X_t \leq b | X_{t_m} = x_m\}$$

Классическими примерами цепей Маркова являются процессы рождения и гибели (прогнозирование численности популяции организмов), ветвящиеся процессы (моделирование электронных умножителей, развитие нейтронной цепной реакции, развитие биологических систем), броуновское движение (физические и социальные процессы), вероятностные модели мутаций и роста, модели иммиграции и роста популяции, описание генетического механизма, модели экологических процессов, системы массового обслуживания.

При использовании моделей случайных процессов предполагает знание законов распределения случайных величин. К сожалению, во многих реальных системах, в частности в информационных системах, знание этих законов не полно. В таких условиях применяются методы прогнозирования, основанные на **неравенстве Чебышева**, представляемом как

$$p(X \geq a) \leq M_x / a, a > 0$$

или как

$$p(|X - M_x| \geq a) \leq D_x / a^2, a > 0$$

где M_x - математическое ожидание;

D_x - дисперсия случайной величины.

Особенность приведенных выражений заключается в том, что они спо-

собны аппроксимировать любой закон распределения и, следовательно, заменить его собой. Достаточно знать только M_x и D_x , чтобы построить нужную аппроксимацию. При этом сохраняются простота модели, умеренные требования к исходным данным, однозначность рекомендаций.

Однако следует понимать, что применение неравенства Чебышева дает возможность получить лишь ориентировочные оценки прогнозируемой величины и затрудняет оценку погрешности прогноза.

§ 3 Методы долгосрочного прогнозирования

В случае, когда требуется получить долгосрочный прогноз развития какого-либо процесса, часто используется **аппроксимация логистической зависимости**, называемой также сигмоидальной (S-образной) функцией

$$y = a / (1 + be^{-cx}),$$

где a, b, c - некоторые положительные величины, выбираемые в соответствии с имеющейся информацией об изучаемых явлениях.

Особенностью логистической кривой (рис. 13.2) является то, что существует предел a , к которому стремятся значения исследуемой переменной y , например, население Земли, рост производительности труда, уровень возбуждения искусственного персептрона в нейронных сетях, при $x \rightarrow \infty$.

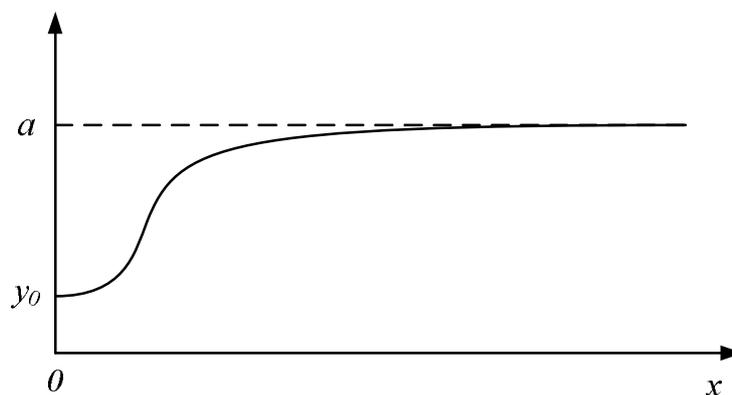


Рисунок 15.2 – Логистическая кривая: $y_0 = a/(1+b)$

Использование логистической кривой облегчает поиск приемлемых оценок будущего. Однако следует помнить, что в жизненном цикле систем существуют периоды сравнительно медленных эволюционных изменений и периоды скачкообразных изменений состояния.

Каких-либо универсальных формальных правил надежного прогнозирования скачкообразных изменений состояния систем в настоящее время не существует. Однако в ряде случаев для прогнозирования таких изменений используются модель **теории катастроф**.

В литературе описывается использование теории катастроф в оптике, лингвистике, экономике, гидродинамике, психологии, геологии и других предметных областях. Однако имеется также много публикаций, специально посвященных критике этой теории.

При использовании любых методов прогнозирования возникают проблемы, связанные с **оценкой качества прогноза**. Эти проблемы решаются в процессе **верификации прогноза** - по совокупности критериев, способов и процедур, позволяющих на основе многостороннего анализа оценить достоверность, точность и обоснованность прогноза. В управлении качество прогноза может оцениваться по результату его использования для целей планирования.

Общие методы верификации прогнозов пока не выработаны. Однако считается, что доверительный прогнозный интервал не может быть меньше опре-

деленной величины, зависящей от инерционности, связности, сложности системы, устойчивости динамики и т.д. Так, чем более инерционной является система, тем более гладкой и устойчивой представляется траектория ее изменения, и, следовательно, вероятность попадания прогнозируемой величины в доверительный интервал больше.

§ 4 Вопросы и задания для самоконтроля

- 1 На чем основываются методы прогнозирования?
- 2 Какой процесс называется интерполированием? Какой процесс называется экстраполированием?
- 3 Сформулируйте теоремы Вейерштрасса.
- 4 Какие методы относят к методам прогнозирования?
- 5 Перечислите свойства пуассоновских процессов.
- 6 Какая модель описывают большое количество физических, биологических, экономических, технических и других явлений? Какой процесс называется *марковским*?
- 7 Приведите примеры цепей Маркова.
- 8 В каких случаях используется аппроксимация логистической зависимостью?
- 9 Экстраполирование это процесс

Список использованных источников

- 1 Айзерман, М.А. Выбор вариантов: основы теории/ М.А. Айзерман, Ф.Т. Алескеров – М.: Наука, 1990. – 640 с.
- 2 Антонов, А.В. Системный анализ/ А.В. Антонов – М.: Высшая школа, 2006. - 454 с.
- 3 Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении/ В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин – М.: Финансы и статистика, 2002 – 368 с.
- 4 Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология учеб. пособие для вузов / Е.С. Вентцель - 3-е изд., стер. - М. : Дрофа, 2004. - 208 с. : ил.
- 5 Волков, И.К., Исследование операций/ И.К. Волков, А.Е. Загоруйко – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000 г. – 384 с.
- 6 Волкова, В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учебник./ В.Н. Волкова, А.А. Денисов – Изд. 3-е. – СПб.: Изд. СПб, 2003. – 520 с.
- 7 Дегтярев, Ю.И. Системный анализ и исследование операций: учеб. для вузов по спец. АСОИУ/ Ю.И. Дегтярев – М.: Высшая школа, 1996. – 335 с.
- 8 Гаврилов, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем/ Т.А. Гаврилов, В.Ф. Хорошевский – СПб.: Питер, 2000. – 450 с.
- 9 Грешилов, А.А. Математические методы принятия решений/ А.А. Грешилов – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006 г. – 584 с.
- 10 Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: учебник/ О.И. Ларичев – М.: Логос, 2003. - 294 с.
- 11 Ногин, В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде/ В.Д. Ногин – М.: Физматлит, 2002. – 408 с.
- 12 Черноруцкий, И.Г. Методы принятия решений/ И.Г. Черноруцкий – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 416 с.: ил.

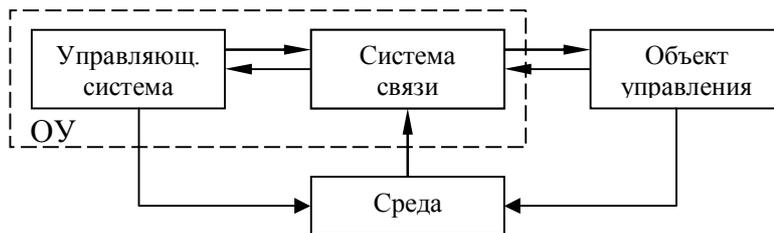
Приложение А

(обязательное)

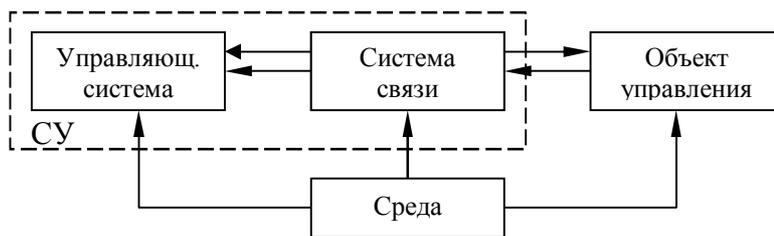
Тесты контроля знаний

1 На каком из приведенных рисунков представлена блок схема системы управления:

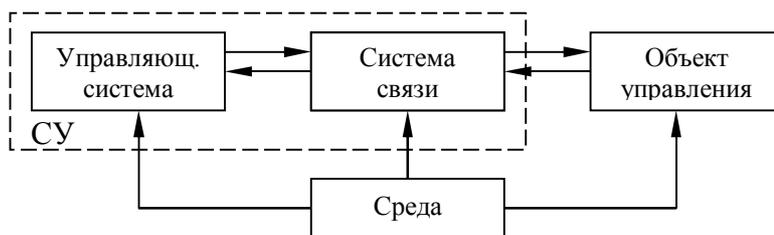
a)



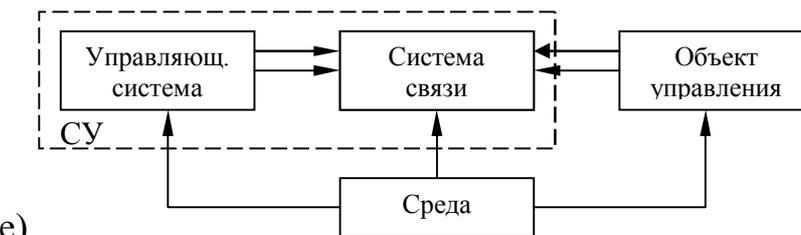
b)



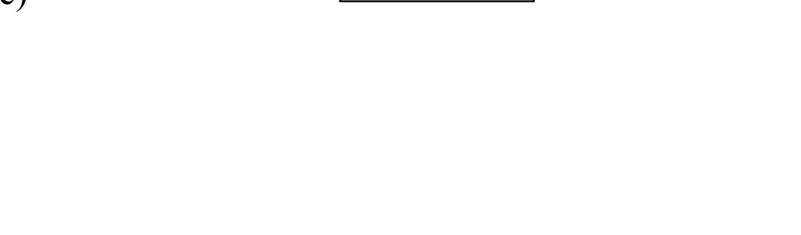
c)

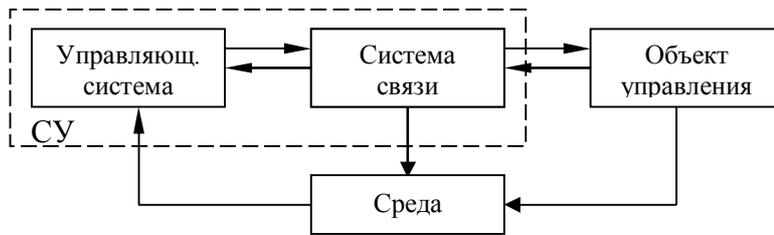


d)



e)





2 Дать определение процесса управления?

- a) процесс целенаправленного изменения поведения системы посредством информационных воздействий, вырабатываемых человеком или устройством;
- b) процесс хаотического изменения поведения системы посредством информационных воздействий, вырабатываемых человеком или устройством;
- c) процесс целенаправленного изменения поведения системы посредством физических воздействий, вырабатываемых человеком или устройством;
- d) процесс целенаправленного изменения поведения системы посредством информационных воздействий, вырабатываемых только человеком;
- e) процесс хаотического изменения поведения системы посредством информационных воздействий, вырабатываемых только устройством.

3 Что такое механизацией?

- a) процесс создания и внедрения механизмов, обеспечивающий снижение эффективности труда человека;
- b) процесс создания и внедрения механизмов, обеспечивающий повышение эффективности труда человека;
- c) процесс создания и внедрения механизмов, обеспечивающий повышение эффективности работы механизмов;
- d) процесс создания и внедрения механизмов, обеспечивающий снижение эффективности работы механизмов;
- e) процесс выработки управляющих воздействий.

4 Система это:

- a) совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению;
- b) процесс получения, передачи, преобразования и использования информации;
- c) совокупность элементов и связей между ними, обладающих определенной целостностью;
- d) процесс выработки управляющих воздействий;
- e) некоторый неделимый объект, обладающий рядом свойств.

5 Какие задачи включает в себя системный анализ?

- a) задачи декомпозиции, анализа и единства;
- b) задачи связности, анализа и синтеза;
- c) задачи декомпозиции, анализа и синтеза;
- d) задачи связности, анализа и единства;
- e) задачи декомпозиции, устойчивости и синтеза.

6 Качество это:

- a) степень приспособленности системы к достижению цели;
- b) совокупность элементов и связей между ними, обладающих определенной целостностью;
- c) обобщенный показатель и правило выбора лучшей системы;
- d) некоторое положение, являющиеся обобщением опыта работы человека со сложными системами;
- e) совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность по назначению.

7 Чем характеризуется достижение цели системы:

- a) эффективностью;
- b) качеством;
- c) точностью;

- d) критерием эффективности;
- e) критерием оптимальности.

8 Что такое критерий эффективности?

- a) обобщенный показатель и правило выбора наихудшей системы;
- b) степень приспособленности системы к достижению цели;
- c) обобщенный показатель и правило выбора лучшей системы;
- d) показатель существенных свойств системы и правило его оценивания;
- e) способность системы без искажений воспринимать и передавать информационные потоки.

9 Что такое качество системы?

- a) математическое выражение критерия эффективности;
- b) способность системы без искажений воспринимать и передавать информационные потоки
- c) обобщенный показатель и правило выбора лучшей системы;
- d) показатель существенных свойств системы и правило его оценивания;
- e) обобщенный показатель и правило выбора наихудшей системы;

10 В каких случаях критерии являются дискретными или непрерывными случайными величинами с известными законами распределения в вероятностной операции?

- a) в условиях определенности;
- b) в условиях полной неопределенности;
- c) в условиях стохастической неопределенности;
- d) в условиях стохастической определенности;
- e) нет правильного ответа.

11 Что называют целевой функцией?

- a) математическое выражение критерия качества;
- b) математическое выражение критерия эффективности;
- c) математическое выражение критерия превосходства;
- d) математическое выражение критерия оптимальности;
- e) математическое выражение критерия пригодности.

12 Робастность это:

- a) способность сохранять частичную работоспособность при отказе отдельных элементов;
- b) способность сохранять полную работоспособность при отказе отдельных элементов;
- c) способность сохранять полную работоспособность при отказе всего оборудования;
- d) способность сохранять частичную работоспособность при отказе всего оборудования;
- e) нет правильного ответа.

13 Что понимается под системным анализом?

- a) методология решения проблем, основанная на структуризации систем и количественном сравнении альтернатив;
- b) процесс целенаправленного изменения поведения системы посредством информационных воздействий, вырабатываемых человеком или устройством;
- c) процесс получения, передачи, преобразования и использования информации;
- d) некоторые положения, являющиеся обобщением опыта работы человека со сложными системами;
- e) ситуация или область ситуаций, которая должна быть достигнута при функционировании системы за определенный промежуток времени.

14 Какой из нижеприведенных принципов ориентирован на декомпозицию с сохранением целостных представлений о системе?

- a) принцип развития;
- b) принцип неопределенности;
- c) принцип иерархии;
- d) принцип модульного построения;
- e) принцип единства.

15 Какой метод качественного оценивания предполагает подготовку и согласование представлений об анализируемом объекте, изложенном в письменном виде?

- a) метод экспертных оценок;
- b) метод типа «дерево целей»;
- c) метод типа сценария;
- d) метод векторной оптимизации;
- e) метод теории полезности.

16 В каком методе качественного оценивания предполагается, что мнение групп экспертов надежнее, чем мнение отдельного эксперта?

- a) метод экспертных оценок;
- b) метод типа «дерево целей»;
- c) метод типа сценария;
- d) метод векторной оптимизации;
- e) метод теории полезности.

17 Какой из нижеперечисленных методов подразумевает использование иерархической структуры, полученной путем разделения общей цели на подцели:

- a) метод типа сценария;
- b) морфологический метод;

- c) метод векторной оптимизации;
- d) метод типа «дерево целей»;
- e) метод теории полезности.

18 Какой метод основан на использовании функции свертки?

- a) метод типа сценария;
- b) морфологический метод;
- c) метод векторной оптимизации;
- d) метод типа «дерево целей»;
- e) метод теории полезности.

19 Какой метод основан на аксиоматическом использовании отношения предпочтения на множестве векторных оценок систем

- a) метод типа «дерево целей»;
- b) метод теории полезности;
- c) метод типа сценария;
- d) морфологический метод;
- e) метод векторной оптимизации.

20 В каком методе ЛПР назначает один критерий главным, а остальные вводит в состав ограничений?

- a) метод типа «дерево целей»;
- b) метод типа сценария;
- c) метод векторной оптимизации;
- d) морфологический метод;
- e) метод выделения главного критерия.

21 Аддитивная свертка это:

- a) представление обобщенного скалярного критерия в виде суммы

взвешенных нормированных частных критериев $k(a) = \sum_{i=1}^I \lambda_i \frac{k_i(a)}{k_i^0}$;

б) представление обобщенного скалярного критерия в виде произведения $k(a) = \prod_{i=1}^I k_i(a)^{\lambda_i}$;

с) представление обобщенного скалярного критерия в виде суммы взвешенных нормированных частных критериев $k(a) = \sum_{i=1}^I \lambda_j \frac{k_j(a)}{k_i^0}$;

д) представление обобщенного скалярного критерия в виде произведения $k(a) = \prod_{i=1}^I k_i(a)^{\lambda_i} \cdot \alpha$;

е) представление обобщенного скалярного критерия в виде произведения взвешенных нормированных частных критериев $k(a) = \prod_{i=1}^i \lambda_j \frac{k_j(a)}{k_i^0}$;

22 Мультипликативная свертка это:

а) представление обобщенного скалярного критерия в виде суммы взвешенных нормированных частных критериев $k(a) = \sum_{i=1}^I \lambda_j \frac{k_j(a)}{k_i^0}$;

б) представление обобщенного скалярного критерия в виде произведения $k(a) = \prod_{i=1}^I k_i(a)^{\lambda_i} \cdot \alpha$;

с) представление обобщенного скалярного критерия в виде суммы $k(a) = \sum_{i=1}^i k_i(a)^{\lambda_i}$;

д) представление обобщенного скалярного критерия в виде суммы взвешенных нормированных частных критериев $k(a) = \sum_{i=1}^I \lambda_j \frac{k_j(a)}{k_i^0}$;

е) представление обобщенного скалярного критерия в виде произведения $k(a) = \prod_{i=1}^I k_i(a)^{\lambda_i}$.

23 В какой аксиоме предпочтение исхода a_i исходу a_j не зависит от порядка, в котором они представлены

- a) аксиома измеримости;
- b) аксиома точности;
- c) аксиома сравнимости;
- d) аксиома коммутативности;
- e) аксиома транзитивности.

24 Какой критерий гарантирует определенный выигрыш при наилучших условиях?

- a) критерий Сэвиджа;
- b) критерий Вальда;
- c) критерий максимакса;
- d) критерий Гурвица;
- e) критерий Симпсона.

25 По какой зависимости рассчитывается K^{opt} для критерия Лапласа?

- a) $K^{opt}(a_i) = \min_i \left(\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^l k_{ij} \right);$
- b) $K^{opt}(a_i) = \min_i \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^l k_{ij} \cdot a_i \right);$
- c) $K^{opt}(a_i) = \max_i \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^l k_{ij} \right);$
- d) $K^{opt}(a_i) = \min_i \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^l k_{ij} \right);$
- e) $K^{opt}(a_i) = \max_i \left(\frac{1}{n} \prod_{j=1}^l k_{ij} \right).$

26 Какой из критериев минимизирует потери эффективности при наихудших условиях?

- a) критерий Вальда;
- b) критерий Сэвиджа;
- c) критерий максимакса;
- d) критерий Гурвица;
- e) критерий Симпсона.

27 По какой формуле рассчитывается K^{opt} для критерия Гурвица?

- a) $K^{opt} = \max_j (\alpha \max_j k_{ij} + (-\alpha) \min_j k_{ij})$;
- b) $K^{opt} = \min_j (\alpha \min_j k_{ij} + (1 - \alpha) \max_j k_{ij})$;
- c) $K^{opt} = \max_j (\alpha \min_j k_{ij} + (1 - \alpha) \max_j k_{ij})$;
- d) $K^{opt} = \max_j (\alpha \max_j k_{ij} + (1 - \alpha) \min_j k_{ij})$;
- e) $K^{opt} = \min_j (\alpha \max_j k_{ij} + (1 - \alpha) \min_j k_{ij})$

28 В каком из критериев в качестве оптимального решения выбирается то, эффективность которого имеет наибольший из максимумов?

- a) критерий Вальда;
- b) критерий Сэвиджа;
- c) критерий максимакса;
- d) критерий Гурвица;
- e) критерий Симпсона.

29 Что понимают под *целью управления*?

- a) набор значений количественных или качественных характеристик, определяющих требуемое состояние ОУ;
- b) набор значений только качественных характеристик, определяющих требуемое состояние ОУ;

с) набор значений только количественных характеристик, определяющих требуемое состояние ОУ;

д) набор значений количественных или качественных характеристик, определяющих требуемое состояние ЗУ;

е) набор значений количественных или качественных характеристик, определяющих требуемое состояние ОП.

30 В каких случаях управление не имеет смысла

а) если цель управления не понятна;

б) если ЛППР ограничен в выборе критериев эффективности;

с) если цель управления неизвестна;

д) если полученные критерии эффективности не удовлетворяют ожидаемым результатам;

е) если полученные критерии оптимальности не удовлетворяют ожидаемым результатам.

31 Энтропия это:

а) процесс вычисления итоговых значений функции на основании выбранных значений

б) процесс вычисления итоговых значений функции на основании выбранных значений.

с) мера первоначальной неопределенности состояния объекта управления;

д) показатель существенных свойств системы и правило его оценивания

е) способность сохранять полную работоспособность при отказе отдельных элементов.

32 При каком управлении управляемый объект будет всегда находиться в заданном состоянии с вероятностью равной единице.

- a) контролируемом управлении;
- b) отсутствие управления;
- c) реальное управление;
- d) шаткое управление;
- e) идеальное управление.

33 Что понимают под общей задачей принятия решения (ОЗПР)

- a) Решение проблемы формирования детального представления системы;
- b) ситуацию, когда требуется вначале сформировать множество альтернатив, затем из множества альтернатив решений выделить некоторое подмножество;
- c) методологию решения проблем, основанная на структуризации систем и количественном сравнении альтернатив;
- d) процесс целенаправленного изменения поведения системы посредством информационных воздействий, вырабатываемых человеком или устройством;
- e) функцию измерения характеристик u_i выполняемая в объекте управления вручную или автоматически.

34 Множеством какого вида можно формально описать модель ОЗПР?

- a) ОЗПР: $\langle T, I_{\text{вх}}, I_{\text{вых}}, I_{\text{реш}}, P, C \rangle$
- b) ОЗПР: $\langle N, I_{\text{вх}}, I_{\text{вых}}, I_{\text{реш}}, P, C \rangle$
- c) ОЗПР: $\langle N, I_{\text{вх}}, J_{\text{вых}}, I_{\text{реш}}, P, C \rangle$
- d) ОЗПР: $\langle T, I_{\text{вх}}, J_{\text{вых}}, I_{\text{реш}}, P, C \rangle$
- e) ОЗПР: $\langle T, I_{\text{вх}}, I_{\text{вых}}, I_{\text{реш}}, P, S \rangle$

35 Какой процесс называется интерполированием?

- f) процесс вычисления значения функций, находящегося за пределами ряда заданных значений;

g) процесс вычисления значения функций, невыходящих в пределы ряда заданных значений;

h) процесс вычисления промежуточных значений функции на основании заданного ряда значений этой функции;

i) процесс вычисления значения функций, входящей в установленные пределы ряда заданных значений;

ж) процесс вычисления значения функций, невыходящих в пределы ряда заданных значений;

к) процесс вычисления итоговых значений функции на основании выбранных значений.

36 Какой процесс называется экстраполированием

a. мера первоначальной неопределенности состояния объекта управления;

b. процесс вычисления промежуточных значений функции на основании заданного ряда значений этой функции;

c. процесс вычисления итоговых значений функции невыходящих в пределы ряда заданных значений;

d. процесс вычисления значения функций, находящегося за пределами ряда заданных значений.

37 Что такое сбор данных :

a. процесс вычисления промежуточных значений функции на основании заданного ряда значений этой функции;

b. процесс получения, передачи, преобразования и использования информации;

c. мера первоначальной неопределенности состояния объекта управления;

d. некоторое положение, являющиеся обобщением опыта работы человека со сложными системами;

е. функция измерения характеристик u_i выполняемая в объекте управления вручную или автоматически;

38 Контроль это:

а. процесс вычисления промежуточных значений функции на основании заданного ряда значений этой функции;

б. процесс получения, передачи, преобразования и использования информации;

с. система функций, обеспечивающих определение состояния ОУ и оценку степени отклонения текущего состояния от требуемого по заданным критериям;

д. процесс вычисления значения функций, находящегося за пределами ряда заданных значений;

е. нет правильного ответа.

39 Какое управление обеспечивает функционирование системы в рамках действующего плана:

а. оперативное;

б. тактическое;

с. организационно – техническое;

д. стратегическое;

е. спрогнозированное.

40 Какой процесс называется *марковским*?

а. Процесс, при котором вероятность любого события, связанного с прошлым поведением процесса при условии, что его настоящее состояние точно известно, не измениться, если учесть дополнительную информацию относительно будущего процесса;

б. процесс, при котором вероятность любого события, связанного с будущим поведением процесса при условии, что его настоящее состояние точно известно, измениться, если учесть дополнительную информацию относи-

тельно прошлого процесса;

с. процесс, при котором вероятность любого события, связанного с будущим поведением процесса при условии, что его настоящее состояние точно известно, не изменится, если учесть дополнительную информацию относительно прошлого процесса;

d. процесс, при котором вероятность любого события, связанного с будущим поведением процесса при условии, что его прошлое состояние точно известно, не изменится, если учесть дополнительную информацию относительно настоящего процесса;

е. процесс, при котором вероятность любого события, связанного с прошлым поведением процесса при условии, что его настоящее состояние точно известно, изменится, если учесть дополнительную информацию относительно прошлого процесса.

Приложение Б

(обязательное)

Варианты расчетно-графического задания

Б.1 Автоматизированная информационная система «Ремонт оборудования»

Предприятие – высшее учебное заведение. В структуре имеется вычислительный центр, в составе которого, в свою очередь, входит ремонтная мастерская.

Словесное описание предметной области: Предприятие, в состав которого входит ряд подразделений, имеет ремонтную мастерскую, в которой производится различного вида ремонт средств вычислительной и оргтехники. Необходимо автоматизировать учет, сданной в ремонт техники. Для каждой единицы техники необходимо хранить её инвентарный номер, название устройства, его модель, год выпуска, какому подразделению устройство принадлежит на текущую дату, т.е. необходимо хранить историю перемещения техники между подразделениями организации. Перемещение единицы техники осуществляется на основе документа, в котором указано с какой даты данная единица перемещается в указанное подразделение. Эта дата одновременно является датой окончания нахождения единицы техники в предыдущем подразделении. Необходимо также хранить дату сдачи единицы техники в ремонт, вид ремонта, срок ремонта, ФИО, номер сотрудника, сдавшего технику в ремонт, ФИО, номер сотрудника, который принял технику в ремонт, ФИО, номер, должность сотрудника, выполняющего ремонт, перечень необходимых для ремонта запасных частей, их стоимость на текущую дату. Стоимость запасных частей определяется из документа – накладной, в которой указана дата получения, стоимость. О каждом сотруднике необходимо хранить информацию о всех перемещениях за время работы на данном предприятии: дата начала работы, дата окончания, подразделение, должность.

Б.2 Автоматизированная информационная система «Баскетбольная суперлига»

Предприятие – областной спорткомитет.

Словесное описание предметной области: Команда клуба «Надежда» города принимает участие в соревнованиях женской баскетбольной суперлиги России. В этих соревнованиях участвуют порядка 12 команд из разных клубов и городов России. Участие в соревновании определяется документов, в котором указано: год проведения (2002 – 2003), клубы, участвующие в розыгрыше. Необходимо хранить информацию о клубах и участниках соревнований. Каждый

клуб характеризуется следующей информацией: название, дата создания, город, спонсоры (ФИО, название организации, если это не частное лицо), главный тренер, который тренирует команду клуба в настоящее время (необходимо хранить историю о всех тренерах) – ФИО, возраст, звание. Также, необходимо знать информацию о наличии залов клуба (название зала, адрес, вместимость, телефон, категория (низкая, средняя и т.п.), информацию о видах транспорта, предоставляемого клубом для перемещения участников соревнований (вид, вместимость). Необходимо также хранить информацию о всех участниках соревнований, которые в разное время играли за клуб – ФИО, дату рождения, звания, антропологические данные (дата, рост, вес), игровой номер, выполняемое амплу, результативность. Эта информация может меняться с течением времени (игрок сменил амплу, вырос), поэтому необходимо хранить историю.

Б.3 Автоматизированная информационная система «Технический осмотр автомобилей»

Предприятие – учреждение ГИБДД.

Словесное описание предметной области: При проведении технического осмотра автомобиля необходимо фиксировать следующие данные: госномер автомобиля, проходящего технический осмотр, номер двигателя, цвет, марка, номер технического паспорта, номер водительского удостоверения, ФИО владельца, адрес прописки, год рождения, пол. Данные фиксируются на дату прохождения текущего осмотра, необходимо хранить историю осмотров – дата прохождения, результат. Необходимо также фиксировать ФИО, должность, звание сотрудника ГАИ, проводившего осмотр, заключение осмотра. Каждый день технический осмотр могут проходить много автомобилей, проводить осмотр могут разные сотрудники, но каждый сотрудник проводит за день не более 10 осмотров.

Б.4 Автоматизированная информационная система «Междугородние переговоры»

Предприятие связи, предоставляющие услуги междугородней связи.

Словесное описание предметной области: Технолог междугородней телефонной станции (МТС) вносит в БД информацию о новых клиентах, пользующихся услугами, это: номер телефона клиента, ФИО, адрес, дата регистрации. Также технолог изменяет цены за пользование услугами, эти данные хранятся в следующем виде: дата, название населенного пункта, с которым осуществляется связь, стоимость одной минуты разговора, льготная стоимость (с 20.00 до 6.00). Оператор МТС фиксирует дату разговора, город, с которым произошел разговор, номер абонента, длительность разговора. После этого оператор отправляет абоненту квитанцию об оплате. Он также принимает извещение об оплате и фиксирует, что те или иные разговоры оплачены.

Б.5 Автоматизированная информационная система «Центра доступа в Интернет»

Предприятие – провайдер, предоставляющий услуги доступа в Интернет в своем зале.

Словесное описание предметной области: В БД заносится следующая информация о клиенте, пользующегося услугами Интернет: номер компьютера клиента, IP-адрес, дата, время начала соединения, окончания соединения, которые фиксируются автоматически при соединении. Цены за пользование услугами могут изменяться, эти данные хранятся в следующем виде: дата, стоимость одной минуты соединения, льготная стоимость с 20.00 до 2.00, льготная стоимость с 02.00 до 06.00. Для каждого абонента формируется квитанция об оплате, в которой содержится: название, адрес, телефон организации, выдавшей квитанцию, дата, время начала, окончания сеанса, количество минут, стоимость одной минуты, итоговая сумма, номер, ФИО оператора, выдавшего квитанцию, номер смены. В одной квитанции м.б. представлена информация о нескольких сеансах связи.

Б.6 Автоматизированная информационная система «Ремонт станочного парка предприятия»

Предприятие, имеющее в своей структуре производственные участки и склады.

Словесное описание предметной области: необходимо облегчить работу по учету комплектующих деталей, необходимых для ремонта и нормального функционирования станков предприятия. Каждый станок имеет номер, название (модель) и относится к определенному типу (токарные, фрезерные и т.п.). Необходимо фиксировать дату начала работы станка, эксплуатационный срок и дату его списания. Каждому станку могут соответствовать разные комплектующие детали, каждая также имеет номер, название. Деталь получают со склада по накладной, в которой указано – с какого склада деталь получена, дата получения, цена детали на дату получения. На накладной расписывается ремонтник, производящий наладку и ремонт станка. Складов на предприятии м.б. несколько, каждый имеет номер, адрес (улица, номер дома), количество метров занимаемой площади.

Б.7 Автоматизированная информационная система «Кадры предприятия»

Предприятие – государственное предприятие.

Словесное описание предметной области: На предприятии существует ряд подразделений. Каждое подразделение имеет штатное расписание, в котором имеется перечень должностей. Каждая должность имеет название, краткое

название, шифр, нижнюю и верхнюю границы разрядов единой тарифной сетки (от 1 до 18). Также известно, сколько единиц каждой должности выделено подразделению. О сотрудниках, работающих на предприятии, необходимо знать всю историю их перемещения – где, в каком подразделении работал сотрудник, на какой должности, какой имел разряд, дату начала и дату окончания работы. Также о сотруднике необходимо хранить личные данные: ФИО, возраст, пол, семейное положение.

Б.8 Автоматизированная информационная система «Рекламное предприятие».

Рекламное предприятие.

Словесное описание предметной области: Необходимо хранить информацию о товаре, который производится предприятиями области – каждый товар имеет название, номер, относится к какой-либо группе товаров (канцелярские принадлежности, бумага, скобяные товары и т.п.). Цена товара меняется во времени и определяется позицией прайс-листа, выпускаемого периодически на предприятии, производящем товар. Предприятие характеризуется названием, имеет статистический код, адрес, телефон. Каждое предприятие может производить много товаров, и в тоже время один и тот же товар могут производить несколько предприятий. Также необходимо знать ФИО и должность руководителя предприятия, телефон отдела маркетинга предприятия, руководителя отдела маркетинга, ФИО контактного лица.

Б.9 Автоматизированная информационная система «Страховая компания»

Предприятие – страховая организация.

Словесное описание предметной области: Страховая организация заключает договора с физическими лицами и юридическими организациями. Для организации оформляется коллективный договор, в котором перечислены страхуемые сотрудники: ФИО, возраст, категория риска (первая, вторая, высшая и т.п.). О предприятии хранится следующая информация: код, полное наименование, краткое наименование, адрес, банковские реквизиты (номер банка), специализация предприятия (медицинское учреждение, автотранспортное предприятие, учебное заведение и т.п.). В заключаемом коллективном договоре указывается дата заключения, срок договора (конец действия договора), сумма выплат по каждой категории сотрудников, выплаты по страховым случаям. Выплаты зависят от категории сотрудника. Необходимо также хранить информацию о страховом агенте, заключившем договор (ФИО, паспортные данные). Каждый агент может заключить много договоров, в каждом договоре м.б. оформлено несколько сотрудников. А каждый конкретный договор м.б. заключен только одним агентом.

Б.10 Автоматизированная информационная система «Отдел маркетинга»

Производственное предприятие, имеющее в структуре отдел маркетинга.

Словесное описание предметной области: Отдел маркетинга предприятия занимается спросом выпускаемого товара. Каждый товар характеризуется кодом, названием, категорией (промышленные, бытовые, торговое оборудование и т.п.). Продажа товара на предприятии осуществляется по накладным, в которых указано кому отправлен товар (юридическое или физическое лицо, название, имя, адрес, номер, серия документа, банковские реквизиты (номер и название банка). В накладной также указывается отпускная цена на текущую дату, количество отпущенного товара. Необходимо отслеживать название населенных пунктов, название региона России и страны ближнего или дальнего зарубежья куда отправлен товар. Каждая накладная соответствует одному пункту назначения и одному покупателю.

Б.11 Автоматизированная информационная система «Приказы»

Предприятие, имеющее в своей структуре ряд иерархически подчиняющихся подразделений.

Словесное описание предметной области: Необходимо хранить информацию о внутренних приказах, распоряжениях или других подобных документах, сроках их выполнения и исполнителях. Например: название документа - "Указание о введении в действие плана по совершенствованию охраны труда", мероприятие, описываемое в документе – "Установить порядок выпуска приказов по случаю нарушения охраны труда", - исходящий корреспондент (человек, готовивший приказ) – гл. инженер.

Информация о исходящем корреспонденте: название подразделения, должность корреспондента, ФИО. Приказ, распоряжение характеризуются номером, датой, содержанием, мероприятием, ответственным за выполнение (название подразделения, должность, ФИО), датой выполнения мероприятия, пометкой о выполнении мероприятия. В одном документе может быть перечислено несколько мероприятий. Фиксируется дата выхода документа. Распоряжение подписывает сотрудник ранга руководителя предприятия, необходимо фиксировать должность и ФИО.

Б.12 Автоматизированная информационная система «Бухгалтерия предприятия»

Государственное предприятие, имеющее в своей структуре ряд иерархически подчиняющихся подразделений.

Словесное описание предметной области: расчет заработной платы производится для сотрудников предприятия, работающих на бюджетной основе. Для сотрудника определена должность и разряд. В соответствии с единой тарифной сеткой каждый разряд имеет свой коэффициент. Оклад рассчитывается

как произведение минимального размера оплаты труда (он может меняться со временем) на коэффициент, соответствующий разряду. Также сотрудник имеет доплату – так называемый уральский коэффициент в размере 15 процентов от оклада. Удержания – 13 процентов подоходный налог, 1 процент – пенсионный фонд, 1 процент – профсоюзный взнос, если сотрудник член профсоюза. Необходимо вести расчет заработной платы и накапливать информацию по сотруднику на протяжении всего периода его работы. Необходимо за каждый месяц рассчитывать и хранить сколько всего начислено, удержано и к выплате. Расчет больничных и отпускных дней не вести.

Б.13 Автоматизированная информационная система «Отдел автоматизации предприятия»

Предприятие, имеющее в своей структуре ряд иерархически подчиняющихся подразделений.

Словесное описание предметной области: Необходимо вести учет средств ВТ и оргтехники на предприятии. Каждое средство имеет инвентарный номер, название, модель, дату приобретения, стоимость. На предприятии средства могут передаваться из подразделения в подразделение, при этом необходимо знать дату передачи и новое материально ответственное лицо (ФИО, должность). Материально ответственный должен работать в том подразделении куда передается техника. Также необходимо знать номер комнаты, где находится техника на текущий момент. О каждом подразделении фиксируется номер, полное и краткое название. Также необходимо фиксировать кто по должности в подразделении является руководителем, а кто материально ответственным лицом.

Б.14 Автоматизированная информационная система «Склад предприятия»

Предприятие, имеющее в своей структуре ряд иерархически подчиняющихся подразделений.

Словесное описание предметной области: Предприятие имеет несколько складов, в которых находится рабочий инвентарь (тип инвентаря - спецодежда, инструменты, подсобные средства и т.п.). Каждый склад имеет номер, название, телефон. Инвентарь завозят на склад в соответствии с приходной накладной, которая имеет дату, перечень (наименование) инвентаря, количество единиц каждого инвентаря. Также указывается ФИО и должность сотрудника склада, принявшего инвентарь. Расход инвентаря со склада осуществляется по расходной накладной, которая имеет ту же структуру, что и приходная, только учитывает расход инвентаря со склада. Поступление инвентаря на склад отражается в карточке складского учета, заводимой для каждого наименования инвентаря. В карточке учитываются все приходы и расходы.

Б.15 Автоматизированная информационная система «Пациенты клинической больницы».

Предприятие – клиническая больница.

Словесное описание предметной области: На каждого вновь поступившего больного заводится карточка медицинской статистики: ФИО больного, пол, возраст, предварительный диагноз, как поступил больной (направление поликлиники, доставлен скорой помощью и т.п.), дата поступления, прочее описание: примерный рост, цвет волос, особые приметы, примерный возраст, номер палаты, в которую положен больной. Информация о больном м.б. неполной, если он не может ответить на вопросы. За время лечения в больнице больному м.б. переведен в разные палаты, необходимо знать дату перевода, номер и телефон палаты. После окончания лечения фиксируется дата выписки и причина выписки либо другой исход (полное излечение, направлен в санаторий и т.п.)

Б.16 Автоматизированная информационная система «Информационная служба города»

Предприятие – организация, занимающиеся досугом населения.

Словесное описание предметной области: необходимо вести учет всех объектов города, где могут проходить развлекательные мероприятия, отдых граждан. Объект характеризуется названием, типом (танцзал, спортзал, бильярдный клуб и т.п.), адресом, количеством мест, адресом, информацией о владельце – частное, юридическое лицо, название, имя, ФИО руководителя, контактный телефон, дата открытия. Объект может закрыться, а потом снова начать работу (сезонные объекты), это необходимо учитывать. Необходимо собирать информацию о популярности среди населения данного объекта (дата, количество посетивших объект). Также необходимо иметь информацию о мероприятиях, заявленных на проведение. В заявке должны учитываться: название объекта, дата проведения, название мероприятия, вид мероприятия (концерт, клубное первенство, просмотр фильма и т.п.).

Б.17 Автоматизированная информационная система «Дом творчества молодежи»

Предприятие – Дом творчества молодежи.

Словесное описание предметной области: в доме культуры ведется учет сведений о детях, посещающих кружки детского творчества, также необходимо иметь информацию о сотрудниках дома культуры или других гражданах, которые ведут занятия в кружках. О преподавателях, ведущих занятия необходимо знать паспортные данные, ФИО, дату рождения, пол, семейное положение, образование, адрес, домашний телефон, специализацию (бальные танцы, хореография, фотодело и т.п.). Каждый преподаватель может вести занятия в нескольких группах, но только по своей специализации, при чем каждый может владеть несколькими специализациями. Каждый кружок или студия имеет не-

сколько детских групп, как правило, сформированных по возрасту. О ребенке необходимо знать ФИО, возраст, если он учится – номер школы, класс, данные свидетельства о рождении (номер дата выдачи), адрес, домашний телефон, сведения о родителях. Каждая студия или кружок имеет номер название, каждая группа также имеет номер и название. Дети, как правило не переходят из группы в группу, но если переходят, это надо учитывать – дату перехода, откуда и куда перешел, для этого надо хранить дату начала посещения кружка и дату окончания.

Б.18 Автоматизированная информационная система «Выставочные залы города»

Предприятие – областной союз художников.

Словесное описание предметной области: необходимо иметь информацию о выставочных залах города, выставках, проводимых в них, участниках выставок. Каждый выставочный зал характеризуется названием, площадью, адресом, телефоном. Зал может принадлежать какому-либо владельцу – это м.б. городская организация, областная, общественная, частное лицо. Необходимо иметь сведения о владельцах (название или имя, адрес, телефон). Также необходимо хранить информацию о видах выставок, проводимых в выставочных залах – это могут быть выставки изобразительного искусства, прикладного, скульптура и т.п., датах проведения выставок. О художниках, которые принимают участие в выставках, необходимо хранить: имя, место и дату рождения, краткую биографическую справку, сведения об образовании. Каждый художник на выставке может представлять несколько работ, необходимо хранить название работы, её исполнение (краски, акварель, скульптура и т.п.), дату создания, размеры: высота, ширина, если это скульптура – объем.

Б.19 Автоматизированная информационная система «Надежность оборудования»

Предприятие, имеющее в своей структуре ряд иерархически подчиняющихся подразделений.

Словесное описание предметной области: необходимо вести учет отказа оборудования на каком-либо участке предприятия. Производственные участки на предприятии имеют номер, название (гальванический участок, участок переработки сырья и т.п.). На каждом участке может работать разное оборудование: газовое, сварочное, электрическое. Оборудование имеет номер и название (манометр, газосварочный аппарат и т.п.). Любое оборудование проходит технический осмотр, за год их м.б. несколько. Фиксируется дата осмотра и результат – годен к работе, передать в ремонт, списать и т.п., а также причину нерабочего состояния оборудования (механическая поломка, электропроводка и т.п. – причины отказа). Каждый осмотр проводит какой-либо сотрудник технического отдела, необходимо хранить о нем следующие данные: табельный номер, ФИО, занимаемую на время осмотра должность. Оборудование может отказать в работе и между техническими осмотрами, в таком случае также фиксируется дата, причина, ФИО сотрудника, проведшего соответствующий осмотр на момент отказа.

Б.20 Автоматизированная информационная система «Отдел комплектации библиотеки».

Предприятие – отдел комплектации литературы библиотеки.

Словесное описание предметной области: на предприятии ежегодно выписываются издания, издающиеся на территории России. Необходимо вести сведения о выписанных и полученных номерах различных журналов и газет. Подписка м.б. оформлена на год и на половину года, необходимо хранить сроки подписки периодического издания (это м.б. газета или журнал) дата начала подписки, дата окончания, стоимость подписки, периодичность выхода, способ доставки (приносит почтальон, получение бандероли на почте, предполагаемую дату доставки – число, месяц). Надо знать подписной индекс издания, название. При получении издания необходимо фиксировать, что оно получено, какого числа и месяца, номер издания, а также фиксировать ФИО и должность сотрудника, получившего издание.

Б.21 Автоматизированная информационная система «Турбюро»

Предприятие – туристическое бюро.

Словесное описание предметной области: Офисы сети туристических бюро предлагают информацию о имеющихся турах, наличии путевок, их стоимости. Каждый тур характеризуется типом (отдых на море, шор-тур, горные лыжи и т.п.), продолжительностью. Каждому конкретному туру может соответствовать один или более различных населенных пунктов, принадлежащих разным странам. В информации о туре приводятся сведения о наличии гостиниц в населенных пунктах, название, количество звездочек. Цена на конкретный тур и на конкретную дату определяется прайс-листами, периодически выпускаемыми сетью турбюро. Для каждого тура также указывается вид транспорта, пункт отправления группы:

Б.22 Автоматизированная информационная система «Зоопарк»

Предприятие – крупный зоопарк.

Словесное описание предметной области: каждому новому питомцу зоопарка присваивается уникальный номер, имя. Необходимо также хранить дату рождения, пол. О птицах дополнительно необходимо хранить сведения о месте зимовки (если такое существует – код, название страны, дата улета, дата прилета), для рептилий необходимо хранить сведения о его нормальной температуре, сроки зимней спячки. Каждому питомцу назначается рацион кормления, который характеризуется номером, названием, типом (детский, диетический, усиленный и т.п.). Каждый тип рациона может содержать несколько названий рационов. Рацион может со временем меняться. Необходимо также учитывать зону обитания животного (название, характеристика). Каждое животное относится к одной зоне обитания. Также необходимо хранить информацию о том, к какому смотрителю на текущий момент прикреплен питомец. За каждым животным закреплен обязательно один смотритель, а каждый смотритель одновременно может обслуживать нескольких. Также в зоопарке есть ветеринары, которые тоже закреплены за животными. Каждый сотрудник имеет свой личный номер, имя, дату рождения, также необходимо знать номер телефона и семейное положение сотрудника. Если кто-то из одной семьи работает вместе (супруги), необходимо об этом знать.

Б.23 Автоматизированная информационная система «Предприятие по благоустройству парков»

Описание предметной области – предприятия МЖК.

Словесное описание предметной области: предприятие оказывает такие виды услуг, как: формирование ландшафтов, насаждение парков, озеленение улиц и скверов. Фирма имеет название, юридический адрес. Каждый обслуживаемый парк делится на зоны. Каждому высаживаемому растению присваивается уникальный номер в пределах зоны. Необходимо хранить дату высадки растения и возраст растения. Растение м.б. высажено в парке в многолетнем возрасте. Каждое растение относится к какому-либо одному виду. Режим полив каждого растения зависит от возраста растения и его вида. Каждый полив характеризуется днем (каждый, один раз в неделю и т.п.) временем полива, нормой воды в литрах. Насаждения поливаются максимум один раз в день. Также необходимо иметь информацию о служителях парка, которых ухаживают за насаждениями (ФИО, телефон, адрес). Каждый служитель закрепляется за насаждением графиком (дата). на каждую дату закреплен за насаждением только один служитель. Также есть декораторы парка, о них необходимо хранить информацию о ФИО, телефоне, адресе, образовании, названием законченного учебного заведения, категорией (высшая, средняя и т.п.)

Б.24 Автоматизированная информационная система «Предприятие продуктов питания»

Описание предметной области – столовая предприятия.

Каждый продукт имеет название и для его производства требуется один или более ингредиентов, также каждый продукт можно создать по нескольким рецептам. Каждый рецепт имеет номер, название, описание и автора (код, фамилия, имя, страна, год). В каждом рецепте указана раскладка ингредиентов: название, количество грамм на кг продукта, способ подготовки ингредиента - код, название (размягчение, нагревание, просеивание и т.п.). Необходимо также знать число калорий на 1 грамм ингредиента. Цена ингредиента определяется из накладной на дату получения. Необходимо систематизировать продукты по группам (код, название группы). Также надо вести сведения о поставщиках ингредиентов: код, название, адрес, телефон.

Б.25 Автоматизированная информационная система «Музейный фонд»

Описание предметной области – художественный музей.

Музейные предметы хранятся в музейных фондах. Существуют различные фонды: живопись, графика, икона, скульптура, декоративно-прикладное искусство (ДПИ), нумизматика, археология, рукописи и редкая книга и т.п. Для удобства работы в ряде фондов предусмотрены вспомогательные картотеки комплектов - сервизов и гарнитуров в ДПИ, альбомов в графике, иконостасов в древнерусском искусстве и т.п. Необходимо реализовать ведение карточек музейных предметов - инвентарный номер, название, дата создания, точно определена дата создания или приблизительно, авторах работы (только первый автор – ФИО, дата рождения, страна), выставки, в которых участвовал музейный предмет. Необходимо вести учет движения (прием на хранение, передача на выставку, возвращение с выставки, списание и т.п.) музейных предметов вне (знать информацию об организации, которой на время передается предмет – название, адрес, телефон, ФИО контактного лица, адрес, где проводится выставка, название выставки, дата начала работы, дата окончания работы) и внутри музея (из фонда в фонд), осуществлять оформление актов движения. Акты подписывает руководитель музея и хранитель фонда, отвечающий за предметы в музейном фонде. Предметы могут передаваться как в составе целого комплектом, так и по отдельности.