

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Р. И. МАКАРОВ    Е. Р. ХОРОШЕВА

# ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

Учебное пособие



Владимир 2018

УДК 681.518 (075.8)  
ББК 32.973.233я73  
М15

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор  
зав. кафедрой вычислительной техники и систем управления  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*В. Н. Ланцов*

Доктор технических наук, профессор  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*Ю. М. Монахов*

Кандидат физико-математических наук  
доцент кафедры менеджмента и бизнес-информатики  
Владимирского филиала Финансового университета  
*Н. Н. Мануйлов*

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

**Макаров, Р. И.**

М15 Теория информационных процессов и систем : учеб. пособие / Р. И. Макаров, Е. Р. Хорошева ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2018. – 175 с.  
ISBN 978-5-9984-0849-6.

Приведены общие сведения об основах теории информационных процессов и систем, методах описания, анализа и синтеза информационных систем с целью повышения эффективности действующих и создаваемых информационных систем. Подробно рассмотрены методы исследования информационных систем с использованием CASE-компьютерной технологии системного анализа и проектирования систем.

Предназначено для студентов 3-го курса, обучающихся по специальности 09.03.02 – Информационные системы и технологии (дневная форма обучения).

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 2. Ил. 69. Библиогр.: 18 назв.

УДК 681.518 (075.8)  
ББК 32.973.233я73

ISBN 978-5-9984-0849-6

© ВлГУ, 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
<b>1. Определение системы. Основные понятия, характеризующие строение и функционирование систем. Классификация систем ....</b>	<b>6</b>
1.1. Определение системы. Базовые понятия теории систем .....	6
1.2. Виды и формы системных структур. Классификация систем.....	17
1.3. Информационная система. Структура и классификация информационных систем. Информационные технологии, реализуемые в ИС .....	27
1.3.1. Структура и классификация информационных систем .....	29
1.3.2. Информационные технологии, реализуемые в ИС.....	31
1.4. Основные характеристики процессов обработки информации. Точность процесса обработки информации.....	38
1.4.1. Характеристики процесса обработки информации .....	39
1.4.2. Точность процесса обработки информации .....	42
1.4.3. Время реализации алгоритма .....	47
Контрольные задания .....	48
<b>2. Качественные и количественные методы описания информационных систем .....</b>	<b>50</b>
2.1. Описание информационных систем с использованием методологии <i>SADT</i> .....	50
2.1.1. Системный анализ в исследовании ИС управления.....	50
2.1.2. Описание ИС с использованием методологии <i>SADT</i> .....	52
2.1.3. Методология разработки функциональной модели ИС <i>IDEFO</i> ....	53
2.2. Описание документооборота и обработки информации в информационной системе .....	62
2.3. Описание данных информационной системы.....	74
2.4. Описание динамического поведения систем с помощью сетей Петри.....	84
2.4.1. Построение динамической модели предметной области с использованием сетей Петри .....	84
2.4.2. Моделирование динамических вычислительных процессов.....	88
Контрольные задания .....	91

<b>3. Анализ и синтез информационных систем .....</b>	<b>92</b>
3.1. Системный подход в исследованиях информационных систем ..	92
3.1.1. Понятие и основные черты системного подхода .....	92
3.1.2. Сущность системного подхода .....	93
3.2. Основные подходы к построению математических моделей систем .....	97
3.2.1. Моделирование .....	99
3.2.2. Принципы построения моделей .....	101
3.3. Типы математических моделей информационных систем и процессов .....	106
3.3.1. Моделирование .....	108
3.3.2. Вербальные, или понятийные модели .....	111
3.3.3. Логико-лингвистические и семиотические модели .....	116
3.3.4. Статистические, теоретико-вероятностные модели .....	118
3.3.5. Аналитические модели .....	119
3.3.6. Имитационные модели .....	123
3.4. Анализ информационных систем. Виды анализа систем управления .....	127
3.4.1. Структурирование системы .....	128
3.4.2. Определение функциональных особенностей системы .....	130
3.4.3. Структурный и функциональный анализы систем управления .....	132
3.4.4. Классификация и характеристика информационных процессов .....	136
3.5. Синтез информационных систем. Виды синтеза систем .....	145
3.6. Основные характеристики структуры информационных систем. Синтез организационной структуры. Методы синтеза .....	154
3.6.1. Основные характеристики структур информационных систем ..	155
3.6.2. Синтез организационной структуры информационных систем ...	157
3.7. Синтез функциональной структуры информационной системы. Синтез иерархической структуры комплекса технических средств информационной системы .....	162
Контрольные задания .....	169
<b>Заключение .....</b>	<b>172</b>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>173</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Цель изучения дисциплины – обучить студентов основам теории информационных систем, ознакомить с методами описания, анализа и синтеза информационных систем для повышения эффективности действующих и создаваемых информационных систем. Основной задачей курса является обучение студентов методам исследования информационных систем с использованием CASE-компьютерной технологии системного анализа и проектирования систем.

Задачи дисциплины: изучение основ теории систем, системного анализа, принципов структурного анализа и моделирования сложных систем.

Изучение дисциплины направлено на формирование и развитие важных общекультурных и профессиональных компетенций.

Выпускник должен обладать следующими общекультурными компетенциями:

- владение культурой мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения, умение логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь (ОК-1);

- понимание социальной значимости своей будущей профессии, обладание высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности (ОК-4).

Выпускник должен обладать общепрофессиональными компетенциями:

- способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОПК-2);

- способностью применять основные приемы и законы создания и чтения чертежей и документации по аппаратным и программным компонентам информационных систем (ОПК-3).

Учащийся, освоивший программу подготовки бакалавров, должен обладать профессиональными компетенциями, соответствующими виду (видам) профессиональной деятельности, на который (которые) ориентирована программа. В научно-исследовательской деятельности это способность использовать математические методы обработки, анализа и синтеза результатов профессиональных исследований (ПК-25).

# **1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМЫ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМ. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ**

## **1.1. Определение системы. Базовые понятия теории систем**

История формирования системного подхода в исследовании всех объектов реального мира ведет свое начало с древних времен [1]. Древнегреческий философ Демокрит (460 – 360 гг. до н. э.) положил начало материалистическому атомизму (деление целого на части – атомы), определив фундаментальные категории естествознания – целое, элементы и связь между ними. С этого момента стал формироваться системный взгляд на все предметы, окружающие человека в природе.

С возникновением науки и философии, которые призваны познать и объяснять все явления и процессы в природе и обществе, понятие «система» постоянно изменялось и наполнялось все новым содержанием. Все эволюционные процессы, происходящие в науке, не смогли в корне изменить сущность термина «система». В прямом переводе с греческого слово «система» означает «состав», т. е. составленное, соединенное из частей.

В учебном пособии В. Н. Спицнаделя «Основы системного анализа» дается подробное описание этапов формирования и развития системного подхода к исследованию всего как системы. Остановимся лишь на фундаментальных положениях и понятиях теории систем, которые позволяют дать обобщенное представление о ее сущности.

Формирование теории систем происходило в процессе обобщения знаний предметных отраслей наук и синтеза общих закономерностей образования, функционирования и поведения систем в природе, обществе и технике. Большой научный вклад в развитие теории систем внесли такие ученые, как Н. Винер, Л. Берталанфи, И. В. Блауберг, А. А. Богданов, М. Месаревич, А. И. Уемов, Ю. А. Урманцев, В. Н. Садовский, Ю. И. Черняк, У. Эшби и многие другие.

Например, М. Месаревич, А. И. Уемов, Ю. А. Урманцев сформулировали общие закономерности структурно-функционального анализа и синтеза как ведущих методов системного исследования объекта-системы. В рамках общей теории систем (ОТС) «система»

рассматривается как сочетание множества элементов со своими свойствами, множества отношений и множества связей между ними.

Средством формального (математического) описания системы стала теория множеств. Причем часто связь и отношение рассматривались как синонимы, но это не совсем корректно. Связь – это функциональная характеристика элемента, а отношение – структурная характеристика.

А. А. Богданов разработал теорию всеобщей организационной науки – тектологию, в которой обосновал условия организованного и неорганизованного порядка в системе за счет возможных вариантов реакции самой системы на воздействия факторов внешней среды. Любое воздействие из внешней среды на систему может вызывать три типа «реакции» как в самой системе, так и в ее элементах, связях и отношениях: активную организованность, дезорганизованность, гармонизацию.

Н. Винер создал теорию кибернетики, в которой обосновал законы информационного взаимодействия элементов в процессе управления системой. Практической реализацией информационных идей управления стало развитие компьютерной техники и современных методов информационного моделирования систем.

Все эти факты позволили обогатить и дополнить теорию систем, рассматривая разные аспекты вопросов организации, существования, поведения, функционирования и упорядоченного соединения элементов в целое.

Теория систем изучает закономерности организации, структурирования, функционирования, поведения и существования любого объекта в качестве системы. Методологической основой построения теории систем стали такие универсальные научные принципы:

– целостность – это закон устойчиво динамического состояния системы при сохранении внешней формы и содержания в условиях взаимодействия с окружающей средой;

– дискретность – закон деления целого образования на элементарные частицы (элементы системы);

– гармония – это закон формирования связей при обмене энергией, информацией и веществом между элементами системы и целой системой и окружающей ее средой;

– иерархия – закон построения отношений между элементами целого образования (структура управления системой);

– адекватность – закон соотношения симметрии и десимметрии в природе как степень соответствия описания реальной системы формальными методами.

Приведенная система принципов не является исчерпывающей, но она определяет научно-методологическую основу создания теории систем. Как следует из содержания приведенных выше принципов, фундаментальной основой построения теории являются законы природных образований, т. е. природных систем. Фундаментальными законами диалектики выступают законы движения, развития и обмена энергией, информацией и веществом. Главным научным результатом развития теории систем стало формулирование основных законов.

*Первый закон теории систем* – это закон функционального развития (эволюции), или закон целостности. Он сформулирован на основе принципа целостности и рассматривается как способность системы претерпевать изменения внутри своей оболочки или окружающей среды, сохраняя самое себя.

Первый закон теории систем раскрывает сущность системы как единого, целого образования и может отвечать на вопрос *что* такое система. В рамках этого закона описывается ряд закономерностей структурной организации свойств, связей и отношений между элементами, ограниченными единой формой существования. Жизнедеятельность такой системы обеспечена внутренней организацией системы управления общими ресурсами. Устойчивое или неустойчивое состояние системы зависит от скорости обмена между элементами системы потоками энергии, информации и вещества. В процессе такого обмена часто элемент может потерять свои свойства или приобрести новые с условием всех изменений в рамках единой формы существования.

С точки зрения линейного мировоззрения закон целостности объясняет материально-физическую сущность эволюционного развития систем. В данном случае развитие системы обусловлено лишь степенью влияния внешних факторов управления этим развитием (кибернетический принцип). Система рассматривается в качестве «черного ящика», т. е. вход – выход, начальное и конечное состояния. Исследованием внутренних процессов реорганизации элементов в це-

лостной организации пренебрегают вследствие их достаточной сложности. Такие процессы, как правило, исследуются в рамках предметных аспектов.

С точки зрения нелинейного мировоззрения закон целостности раскрывает энергоинформационную сущность внутреннего саморазвития системы за счет смены состояний хаоса и порядка в самой системе (синергетический принцип) [2]. В этом случае исследование системы акцентирует внимание на процессах, происходящих в элементах самой системы, которые зависят от случайного сочетания внутренних и внешних факторов.

По мнению авторов, оба принципа будут лишь дополнением один другого и использованные вместе позволяют наиболее полно получить новое качество знаний о внутреннем потенциале ресурсов для развития систем.

*Второй закон теории систем* – это закон функциональной иерархии систем. Он сформулирован на основе принципа иерархии элементов в системе и объясняет целеобразование (образование цели) функционирования данной системы в окружающей среде, ее функциональное назначение.

Второй закон теории систем отвечает на вопрос *как* нужно управлять этой системой для ее полезного использования, не доводя до разрушения. В рамках этого закона объясняются закономерности возникновения внутренней «реакции» со стороны как самих элементов системы, так и системы в целом на внешние воздействия. Такая реакция может вызывать положительный, отрицательный и нейтрализующий эффекты в структурном образовании.

В рамках кибернетического подхода второй закон теории систем объясняет закономерности построения уровней внешнего управления системой, т. е. с точки зрения окружающей среды. В рамках синергетического подхода – закономерности возникновения, саморазвития, самоуправления системой за счет гармонизации обмена различными ресурсами между самой системой и ее окружением.

Оба закона теории систем позволяют сформировать наиболее объективные и полные знания об общих закономерностях существования и развития систем разной природы на основе принципа гармонизации взаимодействия, взаимосвязей и взаимоотношений между частью и целым. Теория систем дает абстрактное представление о си-

стемах и методах их исследования и создания. Уровень такой абстракции может быть разным. Это и вербальное описание системы, графическое, функциональное, математическое.

В теории систем широко используются методы моделирования на основе линейного и нелинейного программирования, в основе которого лежат методы теорий:

- множеств, описывающая формально свойства системы и ее элементов на основе математических аксиом;
- ячеек, изучающая систему в качестве подсистем (ячеек) с определенными граничными условиями, причем между этими ячейками происходит процесс переноса свойств (например, «цепная» реакция);
- сетей, анализирующая функциональную структуру связей и отношений между элементами в системе;
- графов, изучающая реляционные (матричные) структуры, представляемые в топологическом пространстве;
- информации, излагающая способы информационного описания системы-объекта на основе количественных характеристик;
- кибернетики, исследующая системы управления в качестве процесса передачи информации между элементами системы и между системой и окружающей средой с учетом принципа обратной связи;
- автоматов, в которой система рассматривается с точки зрения «черного ящика», т. е. входных и выходных параметров;
- теория игр, которая исследует систему-объект с точки зрения «рационального» поведения при условии получения максимального выигрыша при минимальных потерях;
- оптимальных решений, которая позволяет математически описать условия выбора наилучшего решения их альтернативных возможностей;
- очередей, использующая методы оптимизации обслуживания элементов в системе потоками данных при массовых запросах.

В современных системных исследованиях экономических систем все больше внимания уделяется теориям бифуркации, особенностей, катастроф, которые используют нелинейные математические методы, описывающие динамическую устойчивость систем [2].

## *Базовые понятия теории систем*

Как следует из вышеизложенного, принцип иерархии является основой построения объективного мира, в котором все существующие системы соподчинены друг другу, т. е. вступают в определенные отношения [1]. Поэтому принято в теории систем выделять два основных понятия: система и среда.

Понятие «среда» следует понимать как сферу, ограничивающую структурное образование системы. Сложное взаимодействие системы и среды как ее окружения определяется в качестве понятий соответственно «система» и «надсистема». В. Н. Садовский и Э. Г. Юдин определяли это соотношение:

- как систему, образующую особое единство со средой;
- любую исследуемую систему, представляющую собой элемент системы более высокого порядка;
- элементы любой исследуемой системы, которые, в свою очередь, обычно выступают как системы более низкого порядка.

В одном из словарей-справочников по математике, кибернетике и экономике дается такое определение понятию «среда».

*Среда* есть совокупность всех объектов, изменение свойств которых влияет на систему, а также тех объектов, чьи свойства меняются в результате поведения системы.

Определение границ системы в окружающей среде делается самим исследователем или наблюдателем. Поэтому включение определенных объектов в качестве элементов исследуемой системы можно назвать творческим и целевым моментом самого исследователя. Приведем пример представления систем и среды (рис. 1.1).

Человек и созданные им социально-экономические системы представляют собой особый класс искусственных систем, поведение которых базируется на основе человеческих потребностей и интересов.

Человек реализует свои интересы индивидуально, через группы, предприятия, национальную и мировую экономику (см. рис. 1.1). Важнейшей внутренней переменной предприятия считается человек (кадры), именно эта переменная предприятия является носителем ценностных ориентаций, целей, технологии управления, социокультурных систем, стиля управления, умений и навыков.

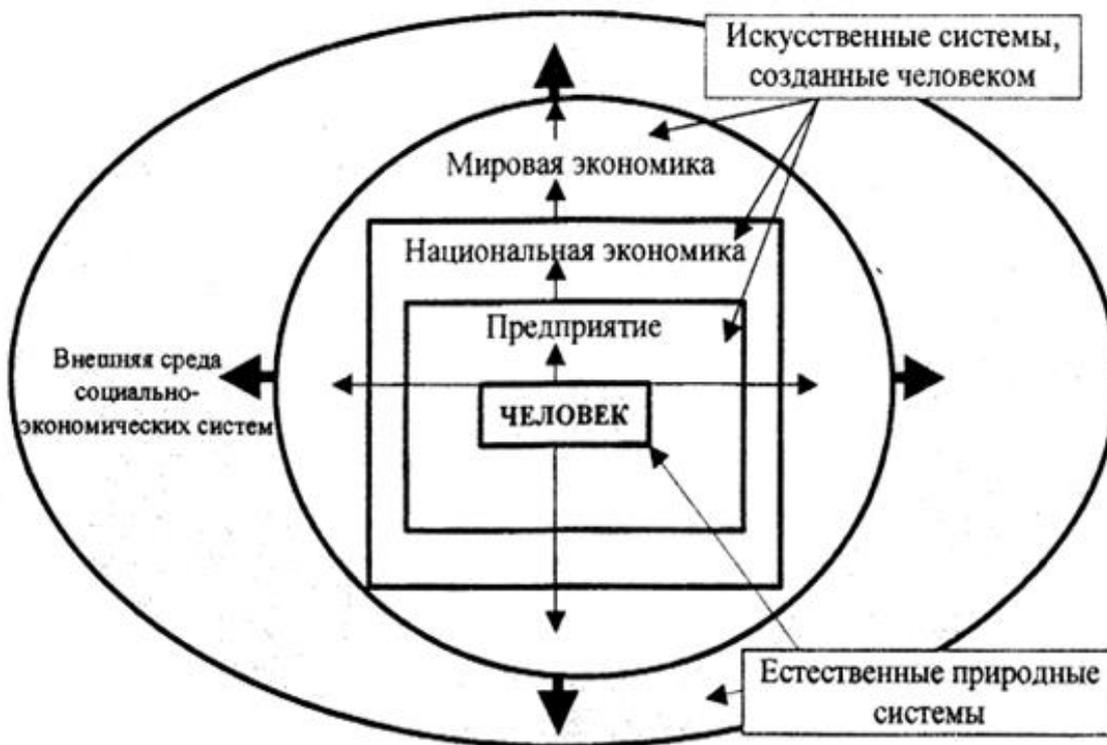


Рис. 1.1. Определение роли человека в представлении среды и системы

Понятие «система» стало терминологической основой построения теории систем. Трактовка понятия «система» имеет различные варианты. Приведем примеры некоторых из них.

1. Система – это объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе (БСЭ. т. 39. С. 158).

2. Система – это комплекс элементов, находящихся во взаимосвязи (У. Барталанфи).

3. Система – это множество элементов с отношениями между ними и между их атрибутами (А. Холл, Р. Фейджин).

4. Система есть отражение в сознании субъекта (исследователя, наблюдателя) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования, познания (Ю. И. Черняк).

5. Система – совокупность связанных и взаимосвязанных друг с другом элементов, составляющих некоторое целостное образование, имеющее новые свойства, отсутствующие у ее элементов (О. Т. Лебедев, С. А. Язвенко).

Содержание приведенных понятий для описания лишь одного термина показывает, что каждый из авторов имеет свое отношение к данному термину.

Для того чтобы выработать наиболее объективное отношение к данному термину, необходимо выделить наиболее общие свойства, которые характеризуют понятие «система». К таким свойствам можно отнести наличие:

- элементов, которые могут быть описаны атрибутами (свойствами самих элементов);
- разного вида связей между элементами, которые определяют степень их организации в целом (функциональные свойства);
- отношений между элементами, которые определяют уровни иерархии в строении целого образования (свойство соотношения);
- цели существования системы, которая определяет целесообразность ее существования в окружающей среде (свойство самоуправления или управления);
- языка описания состояния и функционального поведения системы (свойство изоморфизма, многообразия средств описания).

Все перечисленные свойства системы в той или иной степени корреспондируются с методологическими принципами теории систем и могут рассматриваться как закономерности исследования, проектирования и создания любых систем. На основании этих свойств можно сформулировать еще одно определение.

*Система* – это целостное структурное образование, выделяемое исследователем из окружающей среды на основе единства функционирования множества взаимосвязанных объектов в качестве элементов, обладающих определенными свойствами, связями и отношениями.

Понятие «элемент» системы применяется в системных исследованиях для определения способа отделения части от целого. В данном смысле элемент выступает как своеобразный предел возможного разделения системы на «элементарные» составляющие, которые позволяют наилучшим способом разобраться и понять закономерности функционирования каждой части системы в целостном образовании. Выделение элементов системы позволяет лучше разобраться в строении самой системы и определить ее структурно-функциональные связи и отношения. Определение количества таких элементов в процессе исследования системы имеет субъективно-творческий характер. Каж-

дый исследователь, формулируя цели и задачи исследования, определяет и глубину членения целой системы на части. Элементами системы могут быть как подсистемы, так и ее компоненты в зависимости от тех свойств, которыми обладает выделенный элемент системы.

Понятие «*подсистема*» подразумевает выделение относительно независимой части системы, которая сама обладает свойствами объекта-системы. К таким свойствам можно отнести наличие структурной целостности, подцелей функционирования и коммуникативности с другими подсистемами (элементами). Сама подсистема должна состоять из неоднородных элементов, т. е. обладающих разными свойствами.

Понятие «*компонента*» применительно к элементам системы употребляется в том случае, когда совокупность свойств элементов однородна.

Понятия «*связь*» и «*отношение*» имеют достаточно сложное объяснение. В специальной литературе принято понятие «связь» отождествлять с динамичным состоянием элементов, которое определяется целями функционирования и методами управления в процессе установления связи.

Понятие «*отношение*» характеризуется статикой строения самого элемента, т. е. его структурой. В теории логики принято «отношение» рассматривать как соотношение, соподчинение одного свойства элемента другому. Такое соотношение тоже основывается на разных видах связей, например, в микроэлементах. Понятие «отношение» можно рассматривать как «связи строения» элемента.

Понятие «связь» определяется как проявление свойств коммуникации самого элемента с его окружением. Связь осуществляется на основе закона обмена энергией, информацией и веществом в процессе динамического развития самого элемента. Понятие «связь» описывает степень ограничения свободного развития самого элемента. Все элементы любой системы всегда вступают во взаимодействие друг с другом, теряя при этом некоторые из своих свойств. Наличие свойств связей у элемента (коммуникации) обеспечивает его жизнедеятельность. Следовательно, понятие «связь» определяет функционально-процессуальную характеристику системы, а понятие «отношение» – функционально-структурную характеристику.

По классификации И. В. Блауберга, В. Н. Садовского и Э. Г. Юдина связи могут быть следующие:

- генетические порождения, когда один объект является основой для рождения другого;

- преобразования, когда элементы одной системы в процессе взаимодействия с элементами другой системы приобретают новые свойства в одной системе или обеих системах;

- взаимодействия, которые подразделяются на связи взаимодействия объектов или связи взаимодействия отдельных свойств объектов;

- функционирования, обеспечивающие реальную жизнедеятельность объекта;

- развития, которые возникают в процессе перехода из одного качественного состояния объекта в другое;

- управления, которые могут образовывать разновидность либо функциональных связей, либо связей развития.

Представленная классификация показывает, что рамки определения связей часто размыты и могут пересекаться.

В рамках системных исследований понятие «связь» имеет наибольшее значение, так как в процессе взаимодействия элементов в системе устанавливаются алгоритмы их совместного функционирования.

Например, рекурсивная связь устанавливает причинно-следственную связь между различными параметрами в экономической системе. Синергетическая связь в теории систем определяет результат совместных действий взаимосвязанных элементов как общий эффект, который превышает сумму эффектов, получаемых от каждого независимого элемента. Циклическая связь рассматривается как сложная обратная связь между элементами в системе, определяющая ее полный жизненный цикл, например, в процессе производства какого-либо изделия. Обратная связь является основой саморегуляции, развития систем, приспособления их к изменяющимся условиям существования. Например, в управлении социально-экономическими системами используется функция корректировки, основанная на принципе обратной связи, т. е. возможности принятого решения в зависимости от сложившихся условий.

По своему характеру связи могут быть положительными, отрицательными и гармонизированными.

Под положительной связью понимается результат взаимодействия элементов, в процессе которого не нарушается внутренняя структура самих элементов и этот результат дает импульс к дальнейшему развитию элементов и всей системы.

Под отрицательной связью понимается результат взаимодействия элементов, в процессе которого происходит разрушение как самого элемента, так и всей системы.

Под гармонизированной связью понимается устойчивое динамическое состояние развития элементов в результате их взаимодействия.

Следовательно, в системах различной природы всегда существуют разные виды связей, за счет которых обеспечивается сохранение целостного образования. Принято количество связей между элементами в системе представлять как возможное сочетание по формуле  $S = g(g - 1)$ , где  $g$  – количество элементов.

Исходя из теории алгоритмов, можно констатировать, что связи между элементами в системе могут иметь линейный (однонаправленный), нелинейный (многонаправленный) и циклический характер или их сочетание.

Как было определено выше, понятие «отношение» в качестве внутренней связи между элементами системы логически связано с понятием «структура».

Понятие «*структура*» означает строение, расположение, порядок. Структура отражает взаимосвязи и взаимоотношения между элементами системы, которые устанавливают порядок ее строения. Структуру системы принято описывать видом связей и отношений (иерархия связей) между ее элементами. Структура описывает внутреннее строение (состояние) системы. Структуры могут быть как статические, так и динамические. Одна и та же система может быть описана разными видами структур в зависимости от аспектов и стадий исследования или проектирования в пространстве и времени.

Структуры систем могут описывать состояние системы, ее поведение, условия ее равновесия, устойчивости и развития.

Под состоянием системы принято понимать ее описание в определенный момент времени как «статичную фотографию». Состояние – это

мгновенная фотография или срез системы  $S_1, S_2, \dots, S_i$ . В таком состоянии все элементы имеют статичные входные и выходные параметры. Например,  $S = F(g, e, u)$ , где  $F$  – функция;  $g, e, u$  – параметры элементов.

Под поведением системы принято понимать описание изменения ее параметров во времени. Например,  $S(t) = F\{g(t-1), e(t), u(t-3)\}$ , где  $t$  – время.

*Поведение системы* – это ее способность переходить из одного состояния в другое.

Под *равновесием системы* понимается описание состояния системы, которая лишена внешних воздействий и находится в состоянии равновесия.

*Равновесие* – это способность системы в отсутствии внешних возмущающих воздействий сохранять свое поведение сколь угодно долго (рис. 1.2).

*Устойчивость* – способность системы возвращаться в состояние равновесия после того, когда она была из этого состояния вырвана под влиянием внешних воздействий. Как правило, состояние устойчивости обеспечивается за счет сочетания свойств самих элементов системы.



Рис. 1.2. Равновесное состояние

Под *развитием системы* понимается такое состояние системы, которое обеспечивает развитие свойств связи отношений в рамках организационной структуры в продолжительном временном периоде с учетом воздействия факторов внешней среды.

## 1.2. Виды и формы системных структур. Классификация систем

В исследованиях принято различать разные виды структур как средство описания системы [1]. Структура может быть представлена в графической, матричной формах, в форме теоретико-множественного описания, с помощью языка топологии, математических средств и т. п. Можно выделить следующие средства описания структур.

1. Сетевая структура представляет декомпозицию элементов, представленных во времени. При сетевом представлении структуры системы (рис. 1.3) принято использовать такие понятия, как вершина, ребро, путь, критический путь.

Сетевые структуры систем отображают порядок операций, или действий в системе. Например, с помощью сетевого графика описываются производственные этапы деятельности, при проектировании

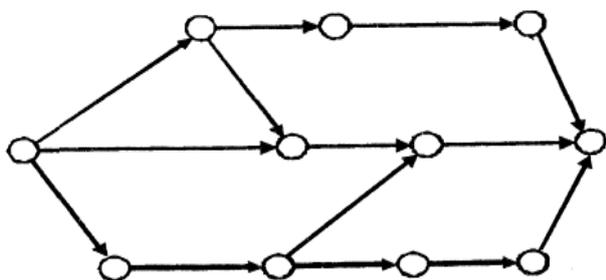


Рис. 1.3. Сетевая структура системы

систем отображается ее сетевая модель, при создании плана производственной деятельности – сетевой план.

Сетевые модели могут быть представлены однонаправленными, обратными и циклическими связями между элементами системы.

Такие связи описываются в виде пути или критического пути между элементами.

При системном анализе сетевых структур используются математический аппарат теории графов, а также теория сетевого планирования и управления, которая имеет прикладной характер.

2. Иерархическая структура (рис. 1.4) представляет собой декомпозицию системы в пространстве, устанавливая уровневые связи (отношения) между элементами (подсистемами) в целом

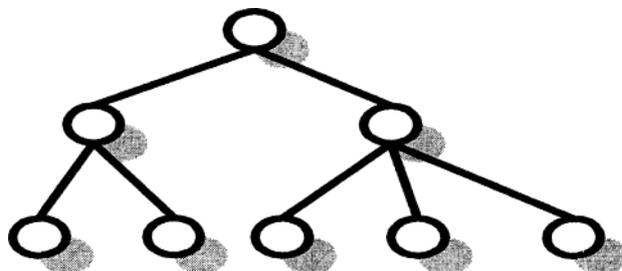


Рис. 1.4. Простейшая иерархическая структура системы

образовании.

Элементы или компоненты системы представляются в виде вершин или узлов, а связи между элементами – в виде дуги или соединения узлов.

Иерархические структуры принято называть древовидными структурами типа «дерево». Чаще всего с помощью таких структур представляются целеполагания и цели управления системой.

3. Многоуровневые иерархические структуры принято изображать в виде страт, слоев, эшелонов.

Страты – это способ описания сложных структур с помощью замены их наиболее простыми моделями. При этом способе каждая страта описывает свой уровень абстракции, сохраняя особенности входных и выходных параметров (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Представление системы в виде стратов

Слои – это способ описания последовательности решаемых проблем с целью поиска наилучшего метода их решения. Причем при решении многослойных проблем предусматривается учет допустимых ограничений на моделирование нижележащих объектов без утери общего замысла решения в следующей проблеме (рис. 1.6).

Эшелон – способ описания иерархической структуры в виде относительно зависимых, взаимодействующих между собой подсистем (объектов). Такие многоэшелонные структуры описывают относительно независимые уровни управления.

На каждом уровне управления подсистемы имеют определенную степень свободы выбора управленческого решения.

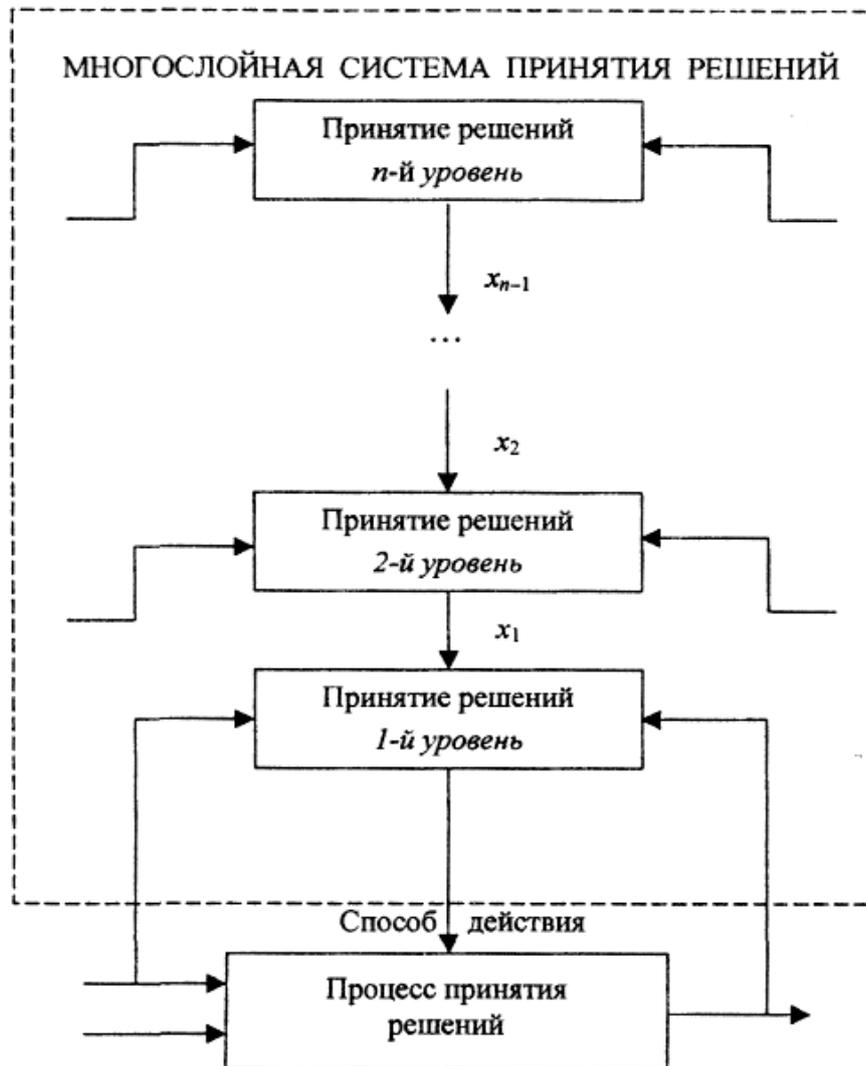


Рис. 1.6. Многослойная структура системы принятия решений

На рис. 1.7 представлена структура подсистем управления, которая выполнена в виде эшелонов. Каждый эшелон представляет собой определенный уровень подсистемы управления. Связь между уровнями управления представлена в виде координации процесса принятия решений в каждой подсистеме. Такую структурную организацию связей между подсистемами управления принято называть многоцелевой иерархической структурой управления. Поэтому многоэшелонные структуры часто называют многоцелевыми.

Матричные структуры представляют взаимоотношения между уровнями иерархической структуры. Они могут быть описаны в виде древовидной иерархической структуры связей, двумерной матрицы со «слабыми» и «сильными» связями и многомерной матрицы (рис. 1.8).

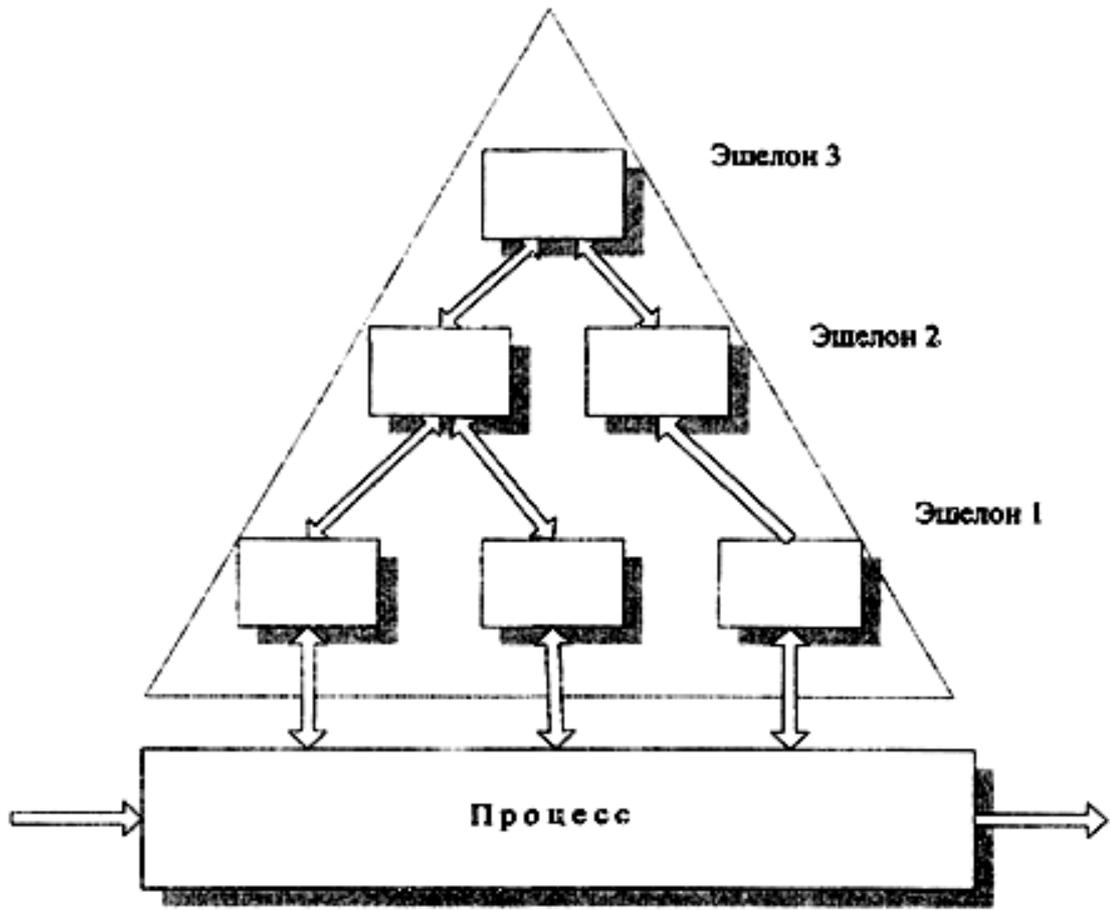
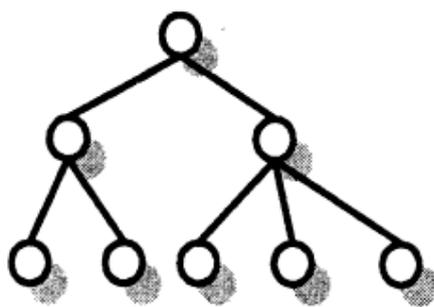


Рис. 1.7. Иерархическая структура системы управления, представленная в виде эшелонов



Древовидная иерархическая структура

1...	1.1... 1.2...
2...	2.1... 2.2...

Матричная структура

1.1	+	+
1.2	+	+
1.3	+	-
2.1	+	-
2.2	+	-
2.3	-	+

Двумерная матричная структура

Рис. 1.8. Примеры матричных структур системы

Смешанные иерархические структуры с вертикальными и горизонтальными связями. Примером такой системы может послужить государственная система управления.

Структуры с произвольными связями используются, как правило, на начальном этапе исследования системы для определения важных и необходимых элементов и установления лишь тех связей и отношений, которые оказывают наибольшее влияние на принятие управленческих решений. На рис. 1.9 изображена система, состоящая из четырех элементов, которая представлена произвольными связями между ними.

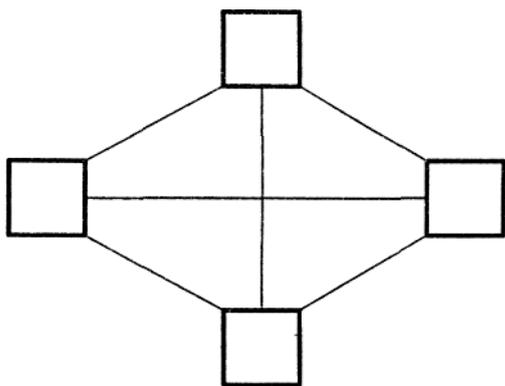


Рис. 1.9. Структура системы с произвольными связями

из четырех элементов, которая представлена произвольными связями между ними.

Такое графическое представление системы, как правило, используется на первом этапе исследования, когда еще не установлены закономерности связей и отношений между элементами. Описание систем в виде структуры с произвольными связями чаще всего

используется на уровне формирования авторской концепции системного исследования выделяемого объекта из окружающей среды.

### ***Классификация систем***

В основе любой классификации систем лежит определение наиболее существенного признака или их сочетания, который (которые) описывает некоторую общность свойств систем [1]. К таким признакам можно отнести классификацию систем:

- по происхождению (естественные и искусственные);
- степени объективности существования (материальные и абстрактные);
- содержанию (социальные, физические, экономические, технические и т. п.);
- степени взаимосвязи с окружением (открытые, закрытые, относительно обособленные);
- состоянию во времени (статические и динамические);
- обусловленности функционального действия (детерминированные и вероятностные);

- обусловленности процессов управления (управляемые и самоуправляемые);
- уровню сложности структуры (суперсложные, большие и сложные, подсистемы, элементы);
- степени внутренней организации (хорошо организованные, диффузные и самоорганизованные);
- методам формализованного описания объекта в качестве системы (адекватное, теоретико-множественное представление, информационное описание, имитационно-динамическое, структурно-лингвистическое представление и т. п.);
- методам моделирования процесса развития (управляемые, адаптивные, самообучаемые, самовосстанавливающиеся, самовоспроизводящиеся и т. п.).

Более подробно с содержанием разных классификаций систем, представленных в качестве систематизации основных признаков, можно познакомиться в учебных пособиях и учебниках по теории систем и системному анализу [3]. В данной книге даются лишь базовые положения и раскрываются те основные понятия, которые выступают в теории систем как основополагающие.

В теории систем принято все исследуемые системы делить на три основных класса: абстрактные, естественные и искусственные. Такое деление имеет важное методологическое значение для исследования систем. Первые системы являются основой для эволюции научных теорий познания. Вторые – основой для выявления закономерностей и формулирования законов природы всех явлений. Третьи – для развития отраслевых научных знаний.

Абстрактные системы – это системы теоретико-методологического характера, позволяющие описывать общие и специфические свойства организационной структуры элементов, связей и отношений в целостном образовании для познания, изучения и проектирования состояния, поведения и развития исследуемого сложного объекта в качестве системы. Абстрактные системы необходимы для разработки логических моделей представления о материальных системах. Абстрактные системы классифицируются по способу познания и методам формального описания (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Классификация способов представления абстрактных систем

Логически-описательные модели, или вербальные (словесные), создаются на основе использования дедуктивного (теоретического построения гипотез, рассуждения, умозаключения от общего к частному) и индуктивного (способ научного познания от частного к общему) методов описания исследуемого объекта-системы в качестве системы научных понятий и определений об основных закономерностях структуры, организации, состояния и поведения материальных систем.

Символические модели – это модели, которые в графическом или математическом виде позволяют описать структурно-функциональные особенности исследуемого объекта-системы в формализованном виде. Представление объекта-системы в графическом виде позволяет выделить основные элементы системы (количество элементов и их основные параметры), описать характер связей (прямые, обратные, циклические) и отношений (уровни иерархического соподчинения). Графические модели могут создаваться как промежуточный этап для разработки математической модели. Часто создание математической модели затруднено из-за того, что отсутствует образное представление системы как целого объекта исследования. Графические модели могут быть представлены в виде плоскостных моделей (алгоритмы линейного, разветвленного и циклического построения) или объемных, в которых хорошо просматриваются варианты возможных связей между элементами при взаимодействии разных факторов внутренней и внешней среды.

Математические модели могут быть представлены тремя основными классами:

- статические, описывающие статическое состояние системы в качестве системы уравнений;

- динамические, которые описывают формально процессы функционирования элементов или всей системы;
- квазистатические, описывающие переходные процессы состояний от статики к динамике или, наоборот, в элементах или системе в целом.

Абстрактные модели позволяют на теоретико-логическом уровне представить обоснование научной гипотезы исследования объекта-системы, которую в дальнейшем необходимо довести до практической реализации, т. е. использовать ее для выявления определенных параметрических закономерностей состояния или процессов в виде математических моделей материальных систем.

Материальными системами принято называть все объективно существующие системы в пространстве и времени. Материальные системы разделяют по происхождению на естественные и искусственные.

К естественным относятся те системы, которые имеют естественно-природное происхождение. Например, природные ресурсы экономики, человек как системный объект исследования в социальных и образовательных системах, природные явления как системный объект в исследовании физических, химических, биологических и других наук.

Естественные системы изучаются на основе законов и закономерностей естественных отраслевых наук физики, химии, биологии и т. п. Их формальное описание осуществляется на базе естественно-математических методов моделирования. Естественные системы – это системы, в которых компонентами являются те или иные природные элементы явлений, структур или процессов природного окружения. Любая естественная система всегда считается достаточно сложной для ее изучения с точки зрения системного подхода. Это объясняется тем, что в рамках предметного исследования трудно выделить число дискретных элементов и описать достаточно адекватно связи между ними. Например, математик Г. Н. Поваров делит все системы в зависимости от числа элементов, в нее входящих, на четыре класса:

- малые ( $10 - 10^3$  элементов);
- сложные ( $10^3 - 10^7$  элементов);
- ультрасложные ( $10^7 - 10^{30}$  элементов);
- суперсложные ( $10^{30} - 10^{200}$  элементов).

К искусственным системам относятся все остальные, которые были созданы самим человеком для обеспечения всех потребностей

своего существования на Земле. Все существующие общественно-организационные системы можно считать искусственными. Например, такие системы, как социально-культурная, образовательная, экономическая, техническая, технологическая и другие можно определить в качестве искусственных. Каждая из них имеет специальное целевое назначение для организации общественной жизни человека.

Социально-экономические системы представляют собой достаточно сложные многоуровневые, многофакторные и многокритериальные открытые системы. Причем эти системы имеют комплексную организацию, так как взаимодействие между социальными и экономическими параметрами элементов такой системы всегда носит нелинейный, динамичный и резонансный характер. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании информационных систем в экономике.

На рис. 1.11 показаны основные элементы реализации системного подхода в исследовании материальных систем с учетом принципов теории систем. Представленная на рис. 1.11 схема показывает основные способы, принципы и методы описания материальных систем в качестве объекта-системы. Выше мы уже приводили пример классификации систем по способу представления на простые (малые), большие и сложные. В специальной литературе существует много понятий по поводу определений больших и сложных систем [3].



Рис. 1.11. Необходимые элементы исследования материальных систем

### 1.3. Информационная система. Структура и классификация информационных систем. Информационные технологии, реализуемые в ИС

Информационная система (ИС) – взаимосвязанная совокупность средств, методов и персонала, используемых для хранения, обработки и выдачи информации в интересах достижения поставленных целей.

В информационных системах в качестве основного техническое средства могут использоваться:

- персональные ЭВМ;
- большие ЭВМ;
- суперЭВМ.

В становлении и развитии ИС можно выделить четыре этапа (см. таблицу).

Этапы становления и развития ИС

Период времени, гг.	Концепция использования	Виды ИС	Цель использования
1950 – 1960	Бумажный поток расчетных документов	ИС обработки расчетных документов на электронных бухгалтерских машинах	Упрощение процедуры обработки счетов и зарплаты
1960 – 1970	Помощь в подготовке отчетов	Управленческие ИС для производственной информации	Ускорение подготовки отчетов
1970 – 1980	Управленческий контроль реализаций (продаж)	Системы поддержки принятия решений (СППР), системы для высшего звена управления, АСУ, АСУТП, отраслевые АСУ (ОАСУ), общегосударственные автоматизированные системы (ОГАС)	Выработка наиболее рационального решения
1980 – 2000	Информация – стратегический ресурс, обеспечивающий конкурентные преимущества	Стратегические ИС (планирование на 3 – 5 лет вперед), автоматизированные офисы	Выживание и процветание фирмы

Процессы, протекающие в информационной системе, изображены на рис. 1.12.

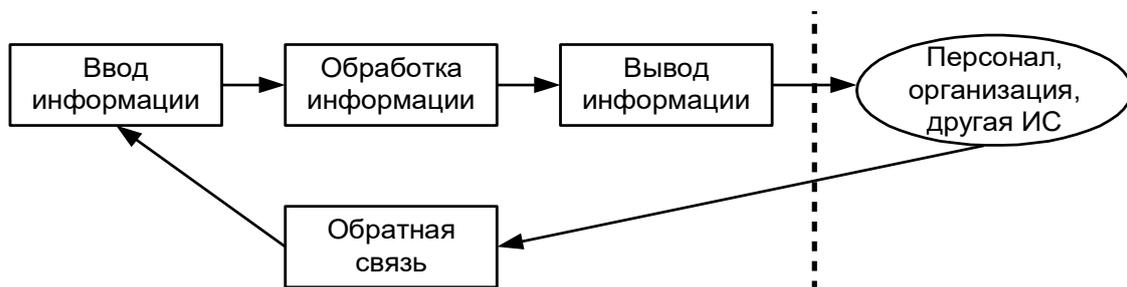


Рис. 1.12. Процессы, протекающие в информационной системе

Чтобы разобраться в ИС, надо понять суть задач, которые она решает. Так, например, при определении возможностей компьютерной системы поддержки принятия решений (СППР) следует учитывать:

- структурированность решаемых управленческих задач;
- уровень иерархии управления фирмой, на котором решение должно быть принято;
- принадлежность решаемой задачи к той или иной функциональной сфере бизнеса;
- вид используемой информационной технологии.

Внедрение информационной системы может способствовать:

- получению рационального варианта решения управленческих задач за счет внедрения математических методов, моделирования, интеллектуальных, экспертных и других услуг;
- освобождению работников от рутинной работы;
- обеспечению достоверности информации;
- переходу к безбумажной технологии;
- совершенствованию структуры потоков информации, системы документооборота фирмы;
- уменьшению затрат на производство продуктов и услуг;
- отысканию новых рыночных ниш;
- предоставлению потребителям уникальных услуг, привязке к фирме покупателей и поставщиков.

Структуру управления организацией можно представить как состоящую из трех иерархических уровней (рис. 1.13). Операционный уровень обеспечивает решение многократно повторяющихся задач, он быстро реагирует на изменение текущей информации.

Функциональный уровень характеризуется тем, что на нем большое значение приобретают функции анализа. Объем решаемых задач уменьшается, а сложность возрастает.



Рис. 1.13. Структура управления организацией

Стратегический уровень обеспечивает выработку управленческих решений на достижение долгосрочных стратегических целей организации. Ответственность за принимаемые решения очень высока. Решения принимаются не только на основе математических методов, но и профессиональной интуиции менеджера.

### ***1.3.1. Структура и классификация информационных систем***

Структуру любой ИС можно представить совокупностью обеспечивающих систем:

- технического обеспечения;
- информационного обеспечения;
- математического и программного обеспечения;
- организационного обеспечения;
- правового обеспечения.

Содержание каждого из обеспечений определено ГОСТом.

*Техническое обеспечение* – комплекс технических средств, предназначенных для работы ИС, а также соответствующая документация на эти средства и технологические процессы.

*Информационное обеспечение* – это совокупность единой системы классификации и кодирования информации, унифицированных систем документации, схем информационных потоков, циркулирующих в организации, а также методов проектирования базы данных (БД).

*Математическое и программное обеспечение* – совокупность математических методов, моделей, алгоритмов и программ для реализации целей и задач ИС, а также нормального функционирования комплекса технических средств.

*Организационное обеспечение* – совокупность методов и средств, регламентирующих взаимодействие работников с техническими средствами и между собой в процессе разработки и эксплуатации информационных систем.

*Правовое обеспечение* – совокупность правовых норм, определяющих создание, юридический статус и функционирование ИС, регламентирующих порядок получения, преобразования и использования информации.

Многообразие информационных систем можно классифицировать по ряду признаков:

- по принципу структурированности задач;
- функциональному признаку;
- уровням управления;
- прочим признакам (степень автоматизации, сфера применения, характер используемой информации).

По принципу структурированности задач различают информационные системы:

- структурированные (формализованные);
- неструктурированные (отсутствуют какие-либо исходные данные, известны не все алгоритмы);
- частично структурированные.

По функциональному признаку классами ИС являются:

- производственная информационная система;
- маркетинговая;
- финансовая;
- кадровая.

По уровням управления выделяют следующие типы информационных систем:

- оперативную;
- тактическую (функциональную);
- стратегическую.

На рис. 1.14 представлена схема управления коммерческой фирмой.

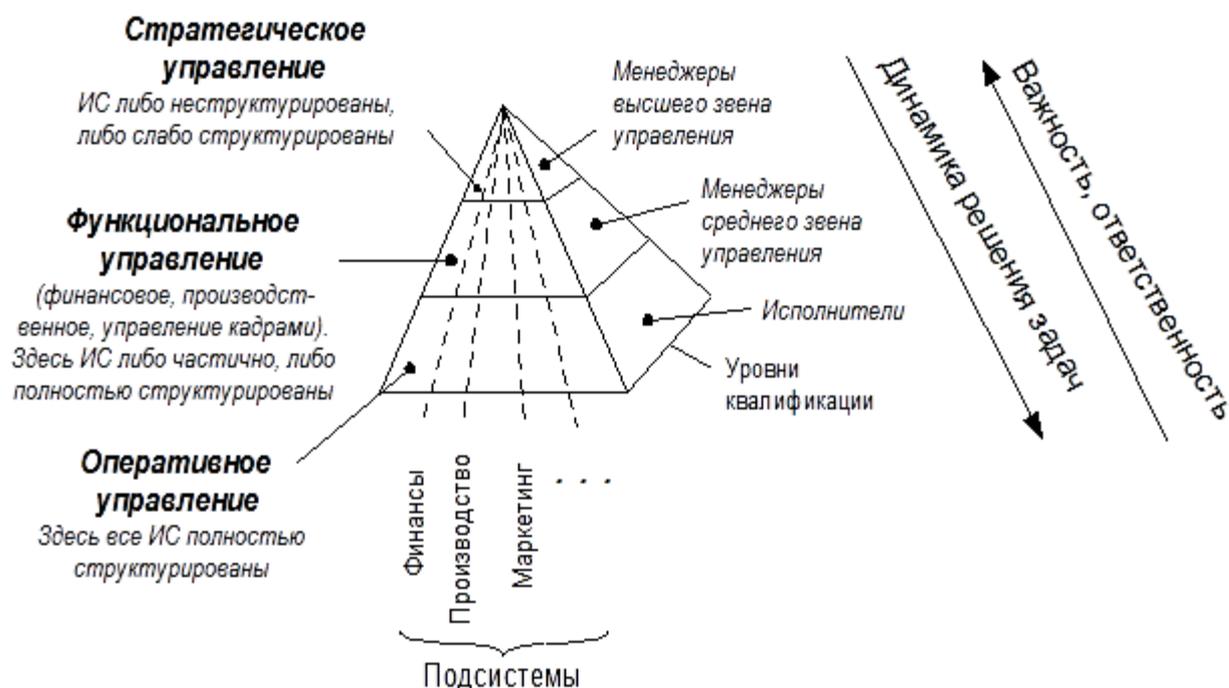


Рис. 1.14. Схема управления коммерческой фирмой

### 1.3.2. Информационные технологии, реализуемые в ИС

Независимо от типа ИС в них реализуются информационные технологии.

Информационная технология (ИТ) включает в себя рассмотрение широкого круга вопросов: организационных, технических, алгоритмических и др.

*Информационная технология* – это процесс, использующий совокупность средств и методов сбора, обработки и передачи данных для получения информации нового качества о состоянии объекта, процесса или явления.

Цель ИТ – производство информации для ее анализа человеком и принятия на его основе решения по выполнению какого-либо действия. Средствами производства информации являются аппаратное, программное и математическое обеспечение процесса. Отдельно из этих средств выделяют программный продукт, называемый инструментарием. В качестве инструментария в ИС используются персональные ЭВМ, малые ЭВМ и суперЭВМ. Информационную технологию можно представить в виде иерархической структуры, состоящей из этапов, операций, действий и элементарных операций (рис. 1.15).

Этапы реализуют сравнительно длительные технологические процессы. В результате выполнения операций создается конкретный объект на выбранном этапе. Действия представляют собой совокупность стандартных для каждой среды приемов работы. Как правило, любое действие изменяет содержание экрана. Элементарные операции связаны с управлением мышью, клавиатурой и т. д.



Рис. 1.15. Иерархическая структура информационной технологии

Информационная технология как любая технология должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать высокую степень расчленения всего процесса обработки информации на этапы, операции и т. д.;
- включать весь набор элементов, необходимых для достижения поставленных целей;
- иметь регулярный характер, т. е. этапы, операции и действия могут быть стандартизированными и унифицированными, что позволяет более эффективно осуществлять целенаправленное управление.

*Виды информационных технологий.* По функциональному признаку информационные технологии делят:

- на ИТ обработки данных;

- ИТ управления;
- автоматизированные офисы;
- ИТ поддержки принятия решений;
- ИТ экспертных систем.

Информационная технология обработки данных предназначена для решения хорошо структурированных задач, по которым имеются входные данные и известны алгоритмы и процедуры их обработки. Данная технология существенно повышает производительность труда персонала, освободив его от рутинных работ. Структура ИТ обработки данных представлена на рис. 1.16.

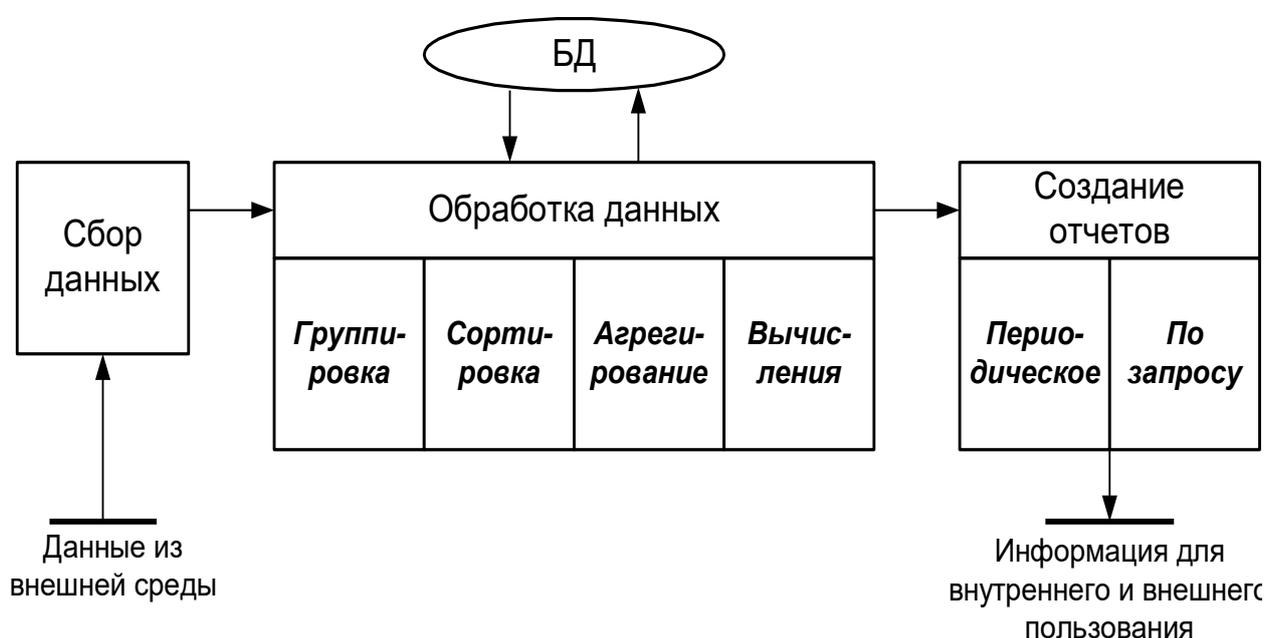


Рис. 1.16. Структура ИТ обработки данных

Многие данные на уровне операционной деятельности сохраняются либо здесь, либо на более высоких уровнях. Для таких систем характерно создание базы данных (БД).

ИТ управления служит для удовлетворения сотрудников фирмы, имеющих дело с принятием решений на всех уровнях управления. Задачи управления отличаются худшей структурированностью. Используемая в этих системах информация содержит сведения о прошлом, настоящем и вероятном будущем фирмы. Информация представляется в агрегированном виде для возможности просматривания тенденции изменения данных, причины возникновения отклонений.

Здесь решаются задачи оценки состояния объекта, отклонения от планируемого состояния, выявления причин отклонений, анализа возможных решений и действий. Информация используется для создания отчетов различных видов:

- регулярных;
- специальных;
- чрезвычайных.

Основные компоненты такой системы даны на рис. 1.17.

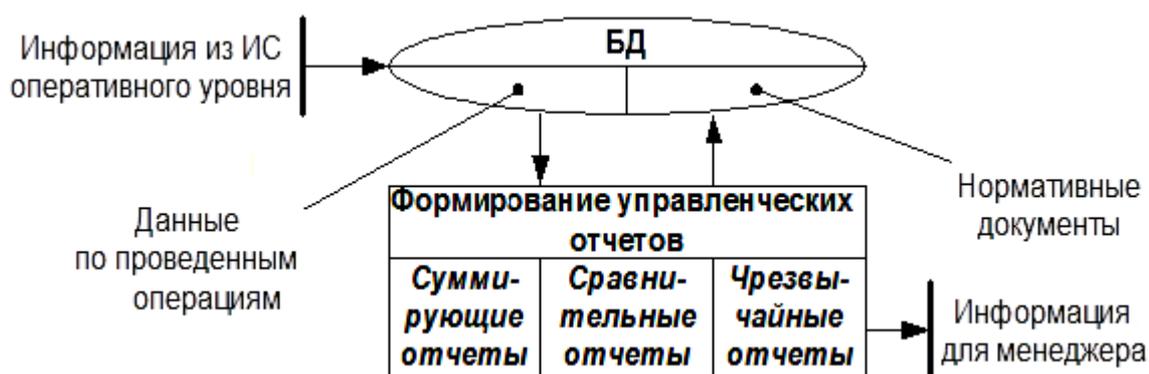


Рис. 1.17. Основные компоненты ИТ управления

Автоматизированный офис поддерживает внутрифирменную связь персонала и предоставляет ему новые средства коммуникации с внешней средой на базе компьютерных сетей и других средств. Структура такой системы приведена на рис. 1.18.

ИТ поддержки принятия решений (ППР) формируют выработку решений в ходе интерактивного процесса. В этом процессе участвуют:

- система ППР (СППР) в роли вычислителя и объекта управления;
- человек как управляющее звено, задающее входные данные и оценивающее результат вычислений.

Такие системы имеют ряд отличительных характеристик:

- ориентированы на решение плохо структурированных задач;
- пользуются методами решения на математических моделях;
- имеют высокую адаптивность, обеспечивая приспособляемость к разным техническим и программным средствам, а также требованиям пользователя.

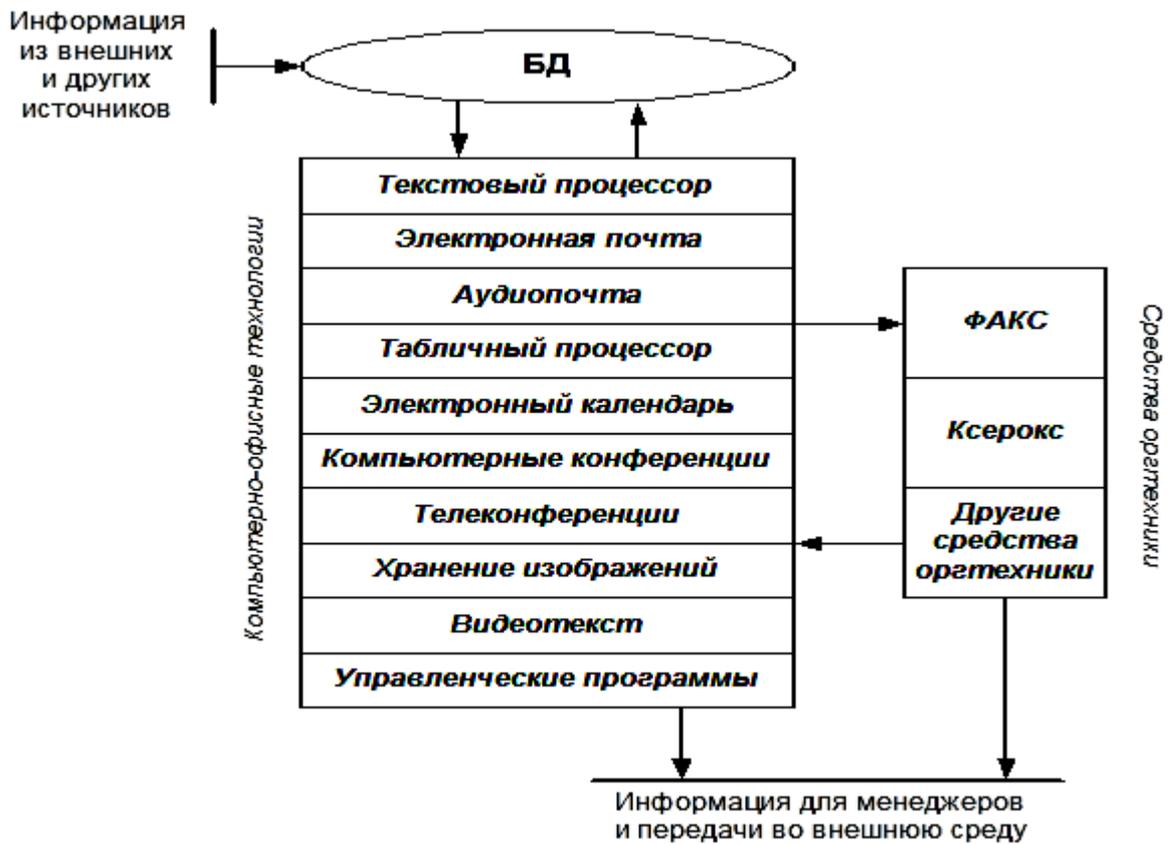


Рис. 1.18. Структура системы автоматизации офиса

ИТ ППР могут использоваться на различных уровнях управления. Структурную схему такой системы можно видеть на рис. 1.19.

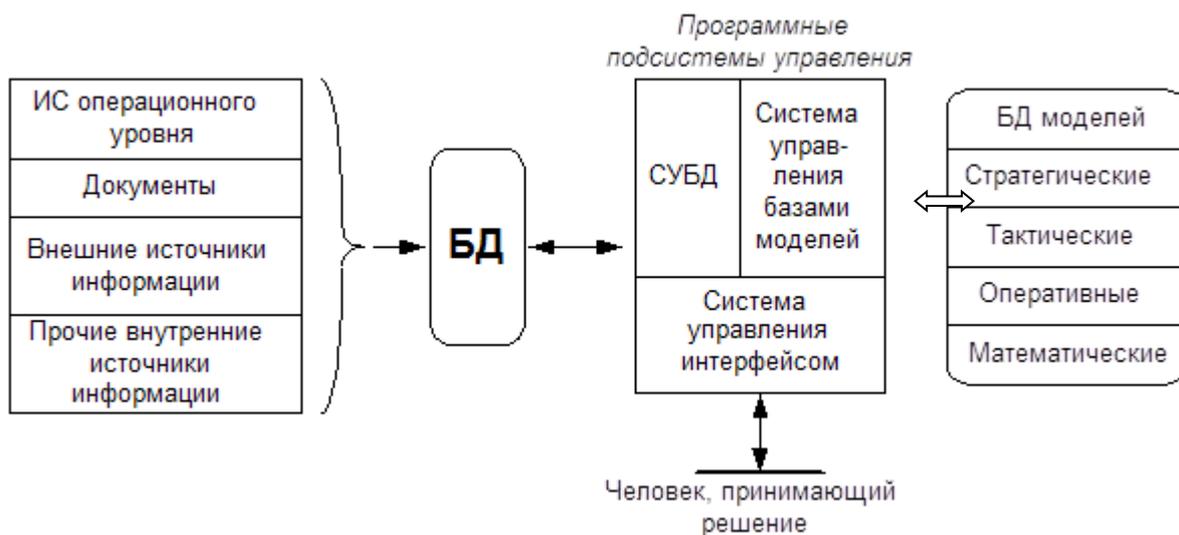


Рис. 1.19. Структурная схема системы ППР

База данных пополняется информацией из ИС операционного уровня, внешних источников и документов (письма, контракты, приказы и т. д.).

Система управления базами данных (СУБД) должна обеспечивать решение таких задач:

1. Составление комбинаций данных путем агрегирования, фильтрации данных из разных источников.
2. Добавление или исключение источников данных.
3. Построение логической структуры данных в терминалах пользователя.
4. Использование и манипулирование неофициальными данными для экспертной проверки рабочих альтернатив пользователя.
5. Обеспечение независимости данной локальной базы данных от других операционных БД, функционирующих в фирме.

Использование моделей, объединенных в базу моделей, обеспечивает проведение в СППР анализа. Модели способствуют нахождению информации, полезной для принятия правильных решений.

По целям использования различают модели:

- оптимизационные;
- описательные.

По способу оценки модели классифицируются:

- на детерминированные;
- стохастические.

По типу решаемых задач и месту пребывания в иерархической структуре управления можно выделить модели:

- стратегические;
- тактические;
- операционные.

Стратегические модели используются для установления целей организации, объемов ресурсов, прогнозирования политики конкурентов, запуска новой продукции и т. д.

К тактическим моделям относятся финансовые модели, модели планирования кадров, организации производства, увеличения продаж.

Операционные модели применяются для ведения дебиторских счетов, кредитных расчетов, календарно-производственного планирования.

Система управления базами моделей (СУБМ) позволяет создавать новые модели или изменять существующие, поддерживать или обновлять параметры моделей, манипулировать моделями.

Система управления интерфейсом определяет язык пользователя, язык сообщений компьютера, организует диалог на экране монитора.

ИТ экспертных систем основаны на использовании искусственного интеллекта, они позволяют менеджеру получать консультации эксперта по стоящим проблемам из накопленной области знаний.

Экспертная система (ЭС) представляет собой компьютерную программу, трансформирующую опыт экспертов в какой-либо области знаний в область эвристических правил. Теория доказала, что эвристика не гарантирует лучшие оптимальные результаты, но дает решения, которые допустимы для практического применения.

Экспертные ИС (ЭИС) имеют следующие отличия от СППР:

- предлагают решения, превосходящие возможности пользователя;
- поясняют свои рассуждения в процессе получения решений;
- используют знания.

Основные компоненты ЭИС приведем на рис. 1.20. Менеджер вводит информацию и команды для ЭС и получает выходную информацию в форме значений, присваиваемых определенным переменным. Выходная информация может выдаваться также в виде объяснений по запросу пользователя.

База знаний содержит факты, описывающие проблемную область, а также логическую взаимосвязь этих фактов. Центральное место в базе знаний занимает правило, образующее систему правил. Все виды знаний представляются в компьютере с помощью одной или нескольких семантических моделей. Наибольшее распространение в ЭС получили модели:

- логические;
- продукционные;
- фреймовые;
- семантические сети.

Интерпретатор последовательно рассматривает совокупность правил. При выполнении условий, содержащихся в правилах, выполняются определенные действия, и пользователю предоставляется вариант решения его проблемы.

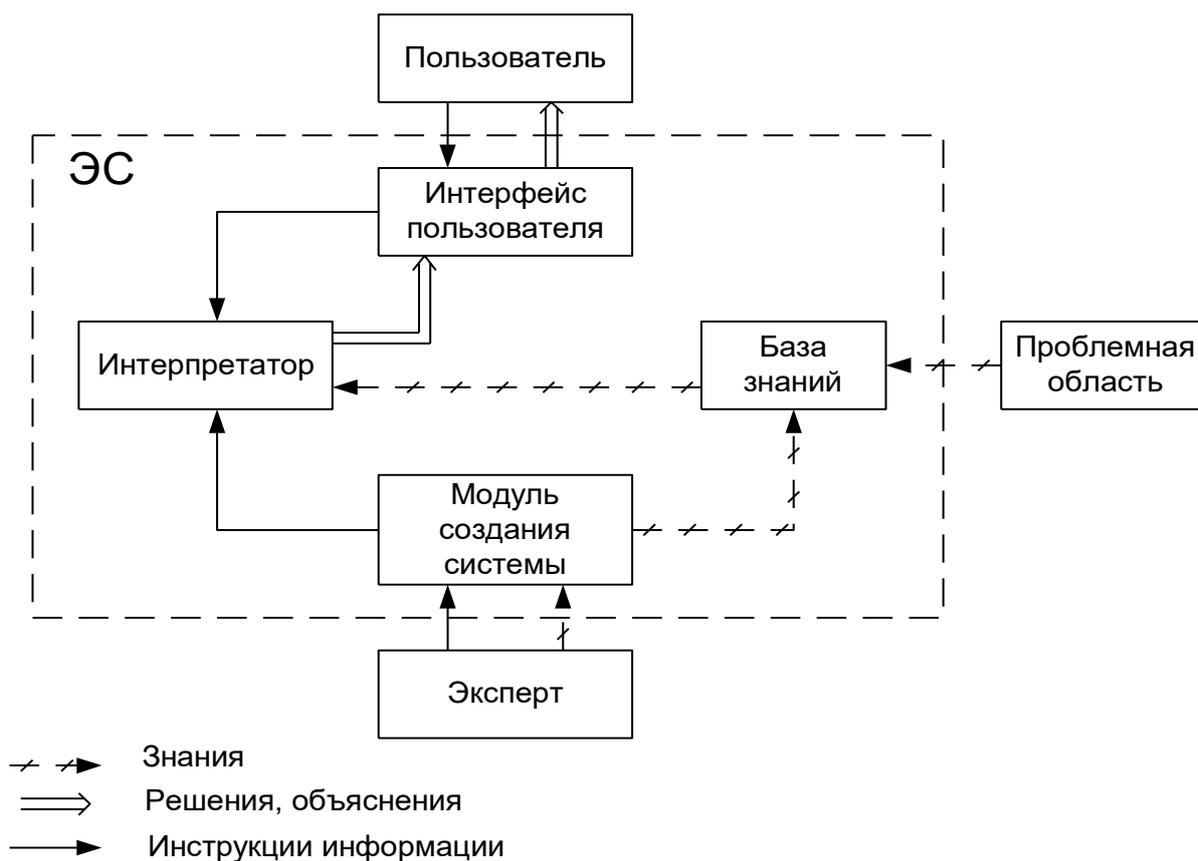


Рис. 1.20. Основные компоненты ЭИС

Модуль создания системы служит для создания набора правил. В основу может быть положено использование языков программирования, например, *LISP*, *Prolog*, либо оболочек ЭС. Оболочки ЭС представляют собой готовую программную среду, которая может быть приспособлена к решению отдельной проблемы путем создания соответствующей базы знаний.

#### 1.4. Основные характеристики процессов обработки информации. Точность процесса обработки информации

Информационный контур – совокупность устройств, обрабатывающих информацию и связи между ними и обеспечивающих передачу информации.

В ИС носителем информации служит физический сигнал. Независимо от физической природы сигналы бывают детерминированными и случайными.

Детерминированный сигнал имеет известный закон изменения, например,  $x(t) = A \cdot \sin(\omega t)$ . Здесь известен закон, но параметры сигнала  $\omega$ ,  $A$ , могут быть неизвестны.

Если сигнал случайный, то для него задаются статистические характеристики (плотность распределения потока, математическое ожидание, дисперсия, корреляционная функция).

В зависимости от характера представления сигналы бывают непрерывными и дискретными. В ЭВМ сигналы дискретизируются.

Совокупность сигналов в процессе их движения в пространстве и во времени от источника к потребителю называется потоком информации.

Поток информации характеризуется количественными и временными характеристиками. Совокупность информационных потоков в ИС можно разделить на три группы: входящие, выходящие, внутренние.

По цепям связи могут передаваться одиночные сигналы (релейные), одиночные слова (команды, данные), массивы слов с данными или более сложными структурами.

По своему характеру потоки с сообщениями могут быть детерминированными и случайными. Различают четыре типа потоков:

1. Абсолютно детерминированный поток (известны моменты передачи сообщений и значения сигналов).

2. Детерминированный поток (известны моменты передачи сообщений, но значения сигналов не известны). Например, циклический опрос датчиков информационной системы.

3. Случайный поток сообщений (значения сигнала известны, а моменты его поступления не заданы и носят случайный характер).

4. Абсолютно случайный поток (значения сигналов и моменты их поступления не известны). Например, сигналы об отказе аппаратуры ИС.

Потоки с сообщениями характеризуются интенсивностью, длиной сообщений и средней скоростью передачи сообщения.

#### ***1.4.1. Характеристики процесса обработки информации***

Для анализа процесса обработки информации может использоваться модель, представленная граф-схемой алгоритма (ГСА).

В ИС, в особенности работающих в реальном масштабе времени, важно, чтобы решения принимались в заданное время, и выдавае-

мая информация была достоверна. Это означает, что все операторы, лежащие на определенном пути из начальной вершины до конечной, должны выполняться с заданной скоростью и надежностью. При проектировании систем эти характеристики будут основными и подлежат выбору [4]. На начальных стадиях проектирования допускается, что в системе нет отказов в обработке информации. Необходимо знать количество  $N_{ij}$  операций  $i$ -го типа в  $j$ -м алгоритме, которое задается в виде характеристического вектора

$$N_j = (N_{j1}, N_{j2}, \dots, N_{jm}),$$

где  $m$  – число разнообразных типов операций в программах решения функциональных задач.

Величина  $N_{ij}$  зависит от адресности ЭВМ, системы команд, структуры системы обмена. Все многообразие операций разбивают на короткие  $N_k$  и длинные  $N_d$ , операции обращения  $N_o$ . На начальных этапах проектирования  $N_j$  неизвестно, можно воспользоваться данными по аналогичным программам, реализованным на аналогичных ЭВМ. Знание  $N_k$  и  $N_d$  необходимы для определения требований к арифметическому логическому устройству (АЛУ),  $N_o$  используется для выбора структуры устройства обмена и его связей с АЛУ. Для аналитических расчетов требуются ГСА с заданными значениями вероятности перехода  $p_{ij}$  от  $i$ -й к  $j$ -й вершине и характеристический вектор  $N$  для каждого оператора.

Решения выполняются при следующих положениях:

- 1) вероятность перехода к следующему оператору не зависит от того, каким путем мы пришли к предыдущему оператору;
- 2) вероятности  $p_{ij}$  остаются постоянными для системы и не изменяются во времени.

При указанных допущениях процесс выполнения алгоритма является *марковским* процессом с  $k$  состояниями  $s_1, s_2, s_3, \dots, s_k$ , которые соответствуют операторам  $x_1, \dots, x_k$  (для нашего примера  $k = 8$ ), причем состояния  $s_1, s_2, s_3, \dots, s_{k-1}$  являются невозвратными. Состояние  $s_k$  – поглощающее.

Среднее число  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$  пребывания марковского процесса в состояниях  $s_1, s_2, s_3, \dots, s_k$  определяется корнями системы линейных алгебраических уравнений

$$n_i = \delta_{ij} + \sum_{j=1}^{k-1} p_{ij} \cdot n_j, \quad i = 1, 2, \dots, k-1, \quad (1.1)$$

где  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера,  $\delta_{ji} = \begin{cases} 0 & \text{при } j \neq i, \\ 1 & \text{при } j = i. \end{cases}$

Каноническая запись системы уравнений (1.1) выглядит в следующем виде:

$$\begin{cases} (p_{11} - 1)n_1 + p_{21}n_2 + \dots + p_{k-1,1}(n_{k-1}) = -1, \\ p_{12}n_1 + (p_{22} - 1)n_2 + \dots + p_{k-1,2}(n_{k-1}) = 0, \\ \dots\dots\dots \\ p_{1k-1}n_1 + p_{2k-1}n_2 + \dots + (p_{k-1,k-1} - 1)(n_{k-1}) = 0. \end{cases}$$

Среднее число операций  $l$ -го типа  $M[n_l]$  определяется как

$$M[n_l] = \sum_{i=1}^k n_i \cdot n_{il},$$

где  $n_{il}$  – число операций  $l$ -го типа, необходимых для реализации  $i$ -го оператора.

Динамическую длину программы  $n(k)$ , содержащей  $k$  операторов, можно определить как математическое ожидание суммы  $n_l$  операций  $n(k) = \sum_{l=1}^m n_l$ . При отсутствии контуров в граф-схеме и петель

формула (1.1) упрощается  $n_1 = 1, n_i = \sum_{j=1}^{k-1} p_{ij}n_j, i = 2, 3, \dots, k$ .

Для приведенной ГСА (рис. 1.21) расчеты дают:  
 $n_1 = 1; n_2 = n_1 \cdot p_{12} = 1 \cdot 0,2 = 0,2; n_3 = 0,2; n_4 = 0,6;$   
 $n_5 = 0,2 \cdot 1 + 0,2 \cdot 0,5 = 0,3; n_6 = 0,7; n_7 = 0,51; n_8 = 1.$

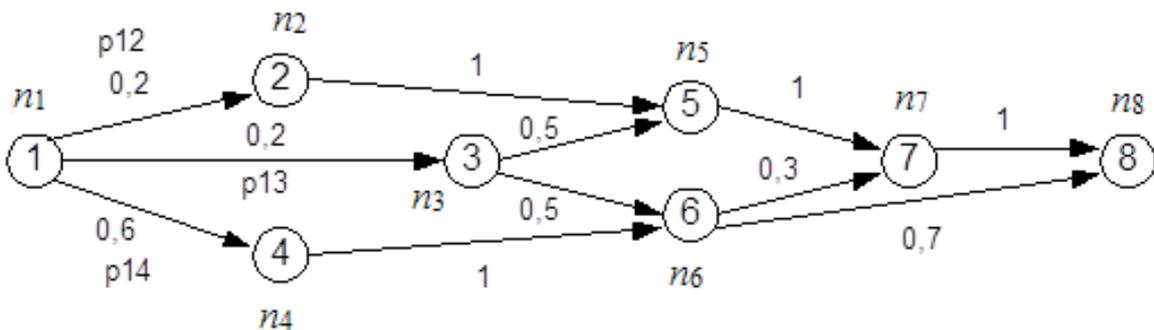


Рис. 1.21. Пример граф-схемы алгоритма

Для каждого алгоритма можно просчитать частоту появления каждого типа операции  $\beta_l$

$$\beta_l = n_l / (n_1 + n_2 + \dots + n_m), \quad l = 1, m,$$

где  $m$  – общее число типов операций.

Тогда можно ввести понятие частотного вектора для алгоритма

$$\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m).$$

Для характеристики обмена информацией между алгоритмами используется показатель внешней связности  $G_{вш}$

$$G_{вш} = U_{вх} + U_{вых},$$

где  $U_{вх}$  – объем входной информации (в словах);  $U_{вых}$  – объем выходной информации, передаваемый другим алгоритмам.

Показатель внутренней связности  $G_{вн}$  рассчитывается по формуле  $G_{вн} = U_k + U_v$ , где  $U_k$  – объем констант,  $U_v$  – результаты промежуточных вычислений.

Число операций обмена может вычисляться по выражению  $N_o = a G_{вш} + b G_{вн}$ , где  $a$  – число операций, затрачиваемое на обмен одним словом;  $b$  – то же на обмен одним словом между внешним запоминающим устройством (ЗУ) и устройствами вычислительной системы при передаче констант и результатов промежуточных вычислений.

Из опыта известно, что  $a = 1 - 10$ ,  $b$  – значительно меньше из-за передачи данных массивами.

#### ***1.4.2. Точность процесса обработки информации***

В процессе обработки информации в ИС возникают погрешности вычислений, которые зависят от параметров алгоритма вычислений и технических характеристик устройств. Рассмотрим погрешности вычислений на примере информационно-управляющей системы, работающей в реальном масштабе времени (рис. 1.22). Аналоговая информация от датчика, установленного на объекте управления, через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) поступает в цифровую вычислительную машину. После обработки показаний датчика в ЭВМ управляющая информация через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) в аналоговой форме поступает на исполнительное устройство. В результате обработки информации в различных устройствах ИС возникают погрешности вычислений.

Погрешности делятся на погрешности аппроксимации, вычислительные, трансформационные, параметрические и динамические [4].

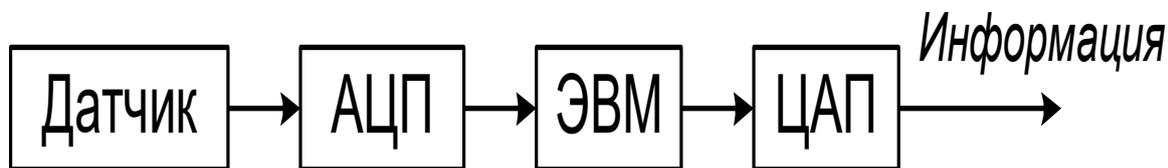


Рис. 1.22. Структура информационной управляющей системы

Погрешности имеют случайный характер и оцениваются законами распределения. В основном для описания погрешностей используются симметричными законами распределений. Чаще всего они аппроксимируются нормальным и равномерным законами распределения. Параметрами этих законов распределения являются математическое ожидание и дисперсия.

Мерами погрешности вычислений могут быть:

- абсолютная погрешность единичного вычисления, оценивается в физических величинах значений  $y$   $\Delta_y = A_y - a_y$ , где  $A_y$  – истинное значение,  $a_y$  – расчетное значение параметра;

- относительная погрешность вычисления, которая считается безразмерной величиной  $\delta_y = \frac{\Delta_y}{a_y} 100 \%$ , или относительная приве-

денная погрешность вычислений  $\delta_y = \frac{\Delta_y}{a_y^H}$ , где  $a_y^H$  – номинальное значение вычисляемого параметра, или диапазон изменения параметра.

В зависимости от значения относительной приведенной погрешности вычислений различают вычислители (системы):

- прецизионные  $\delta_y < 0,5 - 1,5 \%$ ;
- точные  $\delta_y$  могут принимать значения 0,5, 1,0, 2,5 %;
- невысокой точности  $\delta_y$  до 10 %.

В технических системах управления используются точные вычислители. Для оценки точности процесса обработки информации принимаем следующие допущения:

1) в погрешностях вычислений отсутствуют систематические составляющие, т. е. математическое ожидание случайной погрешности равно нулю;

2) компоненты погрешности взаимно некоррелированы.

При сделанных допущениях общая дисперсия погрешности вычислений будет равна сумме компонент

$$\sigma^2 = \sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \sigma_T^2 + \sigma_\Pi^2 + \sigma_d^2, \quad (1.2)$$

где  $\sigma_a^2$  – дисперсия погрешности аппроксимации;  $\sigma_b^2$  – дисперсия вычислительной погрешности;  $\sigma_T^2$  – дисперсия трансформационной погрешности;  $\sigma_\Pi^2$  – дисперсия параметрической погрешности;  $\sigma_d^2$  – дисперсия динамической погрешности.

Структура формирования погрешностей приведена на рис. 1.23.

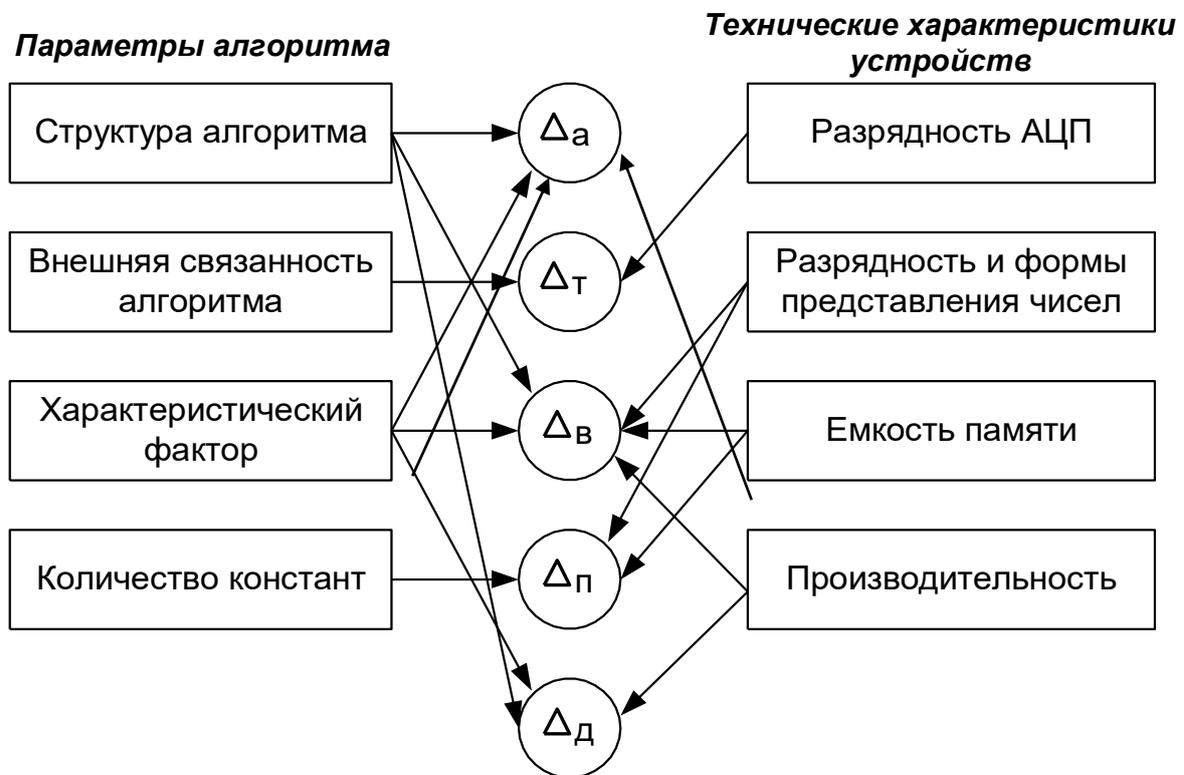


Рис. 1.23. Структура формирования погрешностей вычислений

Параметры ИС определяют инструментальные погрешности системы  $\sigma_{\text{и}}^2 = \sigma_{\text{в}}^2 + \sigma_{\text{т}}^2 + \sigma_{\text{п}}^2$ . Составляющие погрешности  $\sigma_{\text{а}}^2$  и  $\sigma_{\text{д}}^2$  мало зависят от технических характеристик информационных систем.

Рассмотрим отдельные компоненты погрешностей вычисления. Погрешность аппроксимации  $\sigma_{\text{а}}^2$  зависит от структуры алгоритма, т. е. выбранного численного метода решения задач. При известном законе распределения плотности вероятностей максимальная вероятная ошибка вычисления  $\Delta_{\text{max}} = \gamma\sigma$ , где  $\gamma$  – параметр, зависящий от закона распределения и задаваемой вероятности оценки погрешностей.

Для вероятности  $P = 0,99$  и нормального закона распределения плотности вероятностей ошибки принимается  $\gamma = 3$ . При этом величина дисперсии погрешности аппроксимации  $\sigma^2 = \left(\frac{\Delta_{\text{max}}}{\gamma}\right)^2$ .

Трансформационная погрешность  $\sigma_{\text{т}}^2$  определяется разрядностью аналого-цифрового преобразователя или точностью вводимых данных. Погрешность исходных данных пересчитывается к выходной величине, рассчитываемой по формуле

$$y = \varphi(x), \quad (1.3)$$

где  $y$  – расчетная выходная величина;  $x$  – входная информация;  $\varphi(x)$  – алгоритм вычисления.

Дисперсию трансформационной погрешности можно рассчитать, линеаризовав зависимость

$$\sigma_{\text{т}}^2 = \left(\frac{\partial\varphi(x)}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2,$$

где  $\sigma_x^2$  – дисперсия погрешности входных данных, поступающих в вычислитель.

При подаче на вход АЦП аналогового сигнала возникает погрешность квантования сигнала по уровню. Погрешность квантования описывается равномерным законом распределения плотности вероятностей

$$\sigma_x^2 = \frac{(\Delta x)^2}{12},$$

где  $\Delta x$  – абсолютная погрешность квантования аналогового сигнала, определяемая ценой младшего разряда АЦП.

Вычислительная погрешность  $\sigma_{\text{в}}^2$  зависит от количества вычислительных операций в алгоритме решения задачи, разрядности ЭВМ, а также формы представления и масштабирования данных. Вычисления можно представить совокупностью отдельных вычислительных операций. Дисперсия погрешности одной вычислительной операции при равномерном законе распределения погрешности может быть оценена по формуле

$$\sigma_{01}^2 = \frac{(\Delta y)^2}{12},$$

где  $\Delta y$  – цена младшего разряда расчетной выходной величины.

Если в программе реализуется  $N_{\text{в}}$  вычислительных операций, тогда дисперсия погрешности вычислений  $\sigma_{\text{в}}^2 = N_{\text{в}} \sigma_{01}^2$ .

Параметрическая погрешность  $\sigma_{\text{п}}^2$  связана с погрешностями квантования констант вычислительных алгоритмов. Зависит от разрядности и формы представления чисел, имеет равномерный закон распределения. Дисперсия параметрической погрешности

$$\sigma_{\text{п}}^2 = \frac{(\Delta k)^2}{12},$$

где  $\Delta k$  – абсолютная погрешность хранения констант.

Динамическая погрешность  $\sigma_{\text{д}}^2$  обусловлена конечной продолжительностью времени выполнения вычислений и, следовательно, с запаздыванием выдачи управляющих воздействий (решения задачи) на  $k$  тактов. Величина абсолютной динамической погрешности

$$\Delta_{\text{д}}(n\Delta t) = y(n\Delta t) - \varphi(x(n-k)\Delta t),$$

где  $\Delta t$  – шаг квантования;  $n\Delta t$  – момент определения погрешности.

Зная абсолютное значение динамической погрешности, можно вычислить дисперсию динамической погрешности  $\sigma_{\text{д}}^2 = (\Delta_{\text{д}}/\gamma)^2$ .

Баланс погрешностей (1.1) позволяет оценить источники погрешностей и принять при необходимости меры по уменьшению величины погрешности вычислений.

Точность процесса обработки информации в ИС, работающих не в режиме реального времени, может оцениваться по вышеописанной методике за исключением того, что в балансе погрешности (1.1) отсутствует динамическая составляющая погрешности.

### 1.4.3. Время реализации алгоритма

Важной характеристикой процесса обработки информации является время реализации алгоритма в ЭВМ. Этот показатель особенно важен для систем, работающих в реальном времени. Оно определяется задаваемым периодом выдачи управляющей информации, а также временной диаграммой решения задач. При этом необходимо учитывать влияние неисправностей ИС на время вычислений.

Если за время  $T$  необходимо выполнить  $N$  вычислительных операций при отсутствии отказов в ИС, скорость вычислений должна быть  $V = \frac{N}{T}$ .

В реальной системе могут возникать неисправности, обнаружение которых влечет следующие действия:

- восстановление работоспособности и повторное включение части программы;
- изменение конфигурации системы и повторное выполнение части программы.

Это требует дополнительных затрат времени  $T_n$ , а следовательно, увеличения скорости вычислений. Оценим величину увеличения скорости вычислений.

Пусть за время  $T$  решается  $M$  типов задач. Каждая задача реализует подмножество операторов. Тогда общее количество вычислений составит  $N_b = \sum_{j=1}^m N(k_j)$ .

Время, затрачиваемое на реализацию набора задач, определяется соотношением  $T = \sum_{i=1}^M t_{yi} + \sum_{i=1}^M t_{bi}^H$ , где  $t_{yi}$  – среднее время управления при решении  $i$ -й задачи;  $t_{bi}^H$  – несовмещенное время решения  $i$ -й задачи.

Требуемая скорость вычислений для идеализированного случая, когда в ИС не будут отказы, равна

$$\Pi = \frac{N_b}{T} = \frac{\sum_{j=1}^M N(k_j)}{\left(\sum_{i=1}^M t_{yi} + \sum_{i=1}^M t_{bi}^H\right)}.$$

Реально в системе могут возникать отказы и сбои, следовательно, необходимо затрачивать время на восстановление работоспособного состояния системы и повторное выполнение части программы. В обоих случаях теряется время  $T_{\Pi}$ . Поэтому реально приходится увеличить скорость вычислений

$$V = \frac{N}{T - T_{\Pi}} = \frac{N}{T} \left( \frac{1}{\left(1 - \frac{T_{\Pi}}{T}\right)} \right). \quad (1.4)$$

На начальных этапах проектирования при отсутствии полной информации принимают  $T_{\Pi} / T = 0,3 - 0,6$ , тогда формула (1.4) примет вид  $V = \frac{N}{T} (1,4 - 2,5)$ , т. е. у реальной информационной системы производительность должна быть в 1,4 – 2,5 раз выше по сравнению с безотказным режимом работы.

### Контрольные задания

1. Понятие системы, формирование теории систем. Методологические основы построения теории систем.
2. Законы теории систем и их содержание.
3. Методы моделирования, используемые в теории систем.
4. Базовые понятия теории систем: система, подсистема, элемент, отношение, связь, виды связей, структура, состояние системы, поведение системы, развитие системы.
5. Понятие системы. Общие свойства, характеризующие понятие «система».
6. Средства описания структур и их содержание.

7. Классификация систем. Описание общих и специфических свойств организационной структуры элементов, связей и отношений в целостном образовании для познания.

8. Информационная система. Структура и классификация информационных систем.

9. Этапы в становлении и развитии информационных систем.

10. Процессы, протекающие в ИС. Структура управления организацией.

11. Структура и классификация информационных систем.

12. Информационные технологии, реализуемые в информационных системах.

13. Иерархическая структура информационных технологий. Требования, предъявляемые к информационным технологиям.

14. Виды информационных технологий. Область применения.

15. Виды сигналов и потоки информации, их характеристики.

16. Характеристики процесса обработки информации.

17. Точность процесса обработки информации. Расчетное определение погрешностей.

18. Время реализации алгоритма, оценка времени реализации алгоритма.

## **2. КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

### **2.1. Описание информационных систем с использованием методологии *SADT***

Для построения информационной системы необходим целый набор обеспечения систем, о чем должны помнить разработчики, изготовители и поставщики. Поэтому важно комплексно рассчитать все эти системы. Чаще всего при создании информационных систем основное внимание уделяется системе – изделию (объектной системе), представляющей собой «вершину айсберга», а ее компонентам уделяется меньше внимания.

Создание полной информационной структуры актуально, но это требует больших сил и средств и доступно только крупным предприятиям. При создании такой среды уровень совершенства ИС на всех этапах жизненного цикла удастся поддерживать более высоко.

#### ***2.1.1. Системный анализ в исследовании ИС управления***

Решение вопроса о необходимости представления ИС в виде системы и применение для исследования системного анализа зависит от того, какая неопределенность постановки задачи имеет место на начальном этапе ее представления. Эта неопределенность зависит от ряда фактов:

- от необходимой и достаточной детализации системы управления, ситуации принятия решений и точности решений;
- получения достоверной и точной информации;
- возможности в ИС управления некоторой неопределенности, т. е. степени свободы для обеспечения развития системы, ее самосовершенствования, самоорганизации.

Поэтому многие задания, возникшие при создании ИС, могут потребовать применения системного анализа, хотя в ряде случаев эти задания решаются традиционными математическими и инженерными методами. Основная особенность системного анализа в том, что он ориентирует исследователя не на стремление предложить сразу окончательную модель ИС, а на разработку методики, содержащей средства, позволяющие постепенно формировать модель, обосновывая на каждом шаге варианты решений с участием лица, принимающего решения. Сначала в выборе элементной базы, затем при формировании

цели и выборе критерия, а также методов моделирования и при получении вариантов решения лицо принимает решение, выбирает лучший вариант.

Главное в методике системного анализа – это процесс постановки задачи, после создания модели в ряде случаев методика системного анализа может оказаться ненужной.

Системный анализ складывается из основных четырех этапов:

- постановка задачи;
- установление границы изучаемой системы и определение ее структуры;
- составление математической модели исследуемой системы;
- анализ полученной математической модели.

На первом этапе определяются объект исследования, его цели и задачи, а также критерии для изучения и управления объектом. Неправильная постановка цели может свести на нет результаты последующего анализа.

На втором этапе устанавливаются границы изучаемой системы, определяется ее структура. Объекты и процессы, имеющие отношение к поставленной цели, разбиваются на две части: изучаемую систему и внешнюю среду, при этом могут образовываться замкнутые и открытые системы.

На третьем этапе составляется математическая модель исследуемой системы. Вначале производят ее параметризацию, описывают выделенные элементы системы и их взаимодействие, в зависимости от особенностей и поставленных целей для анализа системы используют тот или иной математический аппарат. Аналитические методы применяют для описания небольшой системы вследствие их громоздкости и невозможности составлять и решать системы уравнения. При исследованиях дискретной системы пользуются теорией множеств (алгеброй множеств, алгеброй высказываний), а также вероятностными методами, поскольку в объектах исследования преобладают случайные процессы. В результате третьего этапа формируется математическая модель на формальном языке с использованием алгоритмического языка или *IDEF* методологии [5].

На четвертом этапе проводят анализ полученной математической модели. Определяются ее экстремальные условия с целью оптимизации и последующего формулирования выводов. Оценки оптимизации проводятся по критериям. Практически при анализе ИС выбрать один критерий трудно, так как задача оптимизации может вы-

явить необходимость во многих критериях, которые часто оказываются взаимно противоречивыми. При решении многокритериальных задач оптимизации решают задачу векторной оптимизации, и оптимальное решение находят с использованием схем решения компромисса.

### ***2.1.2. Описание ИС с использованием методологии SADT***

Стандарт *SADT* содержит методологию строения, анализа и проектирования ИС. Анализ жизненного цикла ИС показывает, что этапы, связанные с разработкой и модификацией ИС, определяют ее эффективность. В свою очередь, эффективность разработки определяется применяемыми инструментальными средствами и так называемым проектным менеджментом. Указанный стандарт (*SADT*) разработан в 1975 году (*Structural Analysis and Design Technique* – методология структурного анализа и проектирования). Эта методология отражается в стандарте, который предусматривает следующие этапы:

1. Проектное обследование.
2. Документирование полученных знаний и создание модели первого уровня приближения.
3. Корректирование модели, модель второго уровня.
4. Разработка логического проекта *IDEF*.
5. Динамическая модель или действующий прототип.
6. Диаграммы, рекомендуемые к публикации.
7. Поэтапное сравнение проекта и технической реализации.

Стандарт *SADT* поддержан целым рядом САПРов, построенных на других стандартах *IDEF1*, *IDEF1x*, *IDEF0*, *IDEF/CPN*, являющихся по сути подстандартами *SADT*, который служит языком этих стандартов.

В стандарте *SADT* обеспечиваются единая информационная среда и система формализованных правил, увязывающая единый комплекс моделей: структурную, функциональную, информационную и динамическую, по сути дела реализуется *CASE* технология (*Computer – Aided Software Engineering*).

Предполагается, что проект ИС выполняется в электронном виде, поэтому часть исходных данных структурируется и впоследствии вводится в модель, а также исходные данные могут извлекаться из модели как отдельные составляющие. С точки зрения *SADT* модель может быть ориентирована либо на функции, либо на ее объекты (модель данных) в зависимости от приоритетов и задач, поставленных при проектировании ИС. Эта методология обеспечивает как совместное созда-

ние структурной, функциональной и информационной модели, так и их независимое построение. Последовательная работа на стадии моделирования определена требованиями методологии *SADT*: определение цели и точки зрения; сбор информации; построение модели.

*SADT* подразделяется:

- 1) на *IDEF0* – методологию создания функциональной модели, представляющую собой структуру;
- 2) *IDEF1x* – методологию создания информационной модели;
- 3) *IDEF/CPN* – методологию создания динамической модели.

### 2.1.3. Методология разработки функциональной модели ИС *IDEF0*

Данная методология предназначена для представления функционирования системы и анализа требований к системе [5]. Она широко применяется при описании и проектировании ИС. Методология предусматривает построение иерархической системы диаграмм. Сначала система описывается в целом, где указывается взаимосвязь с внешним окружением (A-0). Затем производится функциональная декомпозиция, система разбивается на подсистемы и каждая из них описывается отдельно (A0). Каждый блок диаграммы может быть декомпозирован на соответствующие блоки. Диаграмма 2-го уровня A1.1; A1.2. После каждого сеанса декомпозиции проводится экспертиза диаграмм, что позволяет построить модель, адекватную предметной области. Основу методологии *IDEF0* составляет графический язык описания протекающих процессов в терминах *IDEF0*, системы и ее компоненты представляются в виде блоков и дуг (стрелки), блоки используются для представления функций системы и сопровождаются текстами. Именем работы этой функции должен быть глагол или глагольная форма. Другим функциональным элементом является дуга. Она представляет собой некоторую информацию и именуется существительными. Место соединения дуги с блоком определяет тип интерфейса. В *IDEF0* различают четыре типа дуг (рис. 2.1).

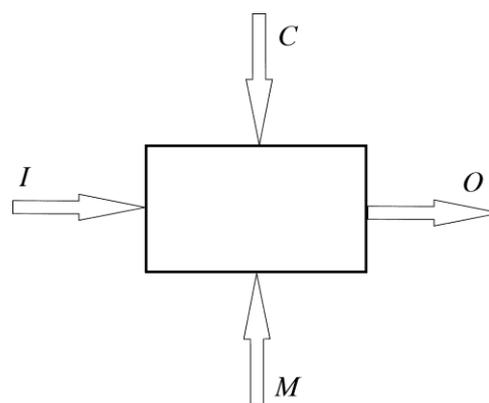


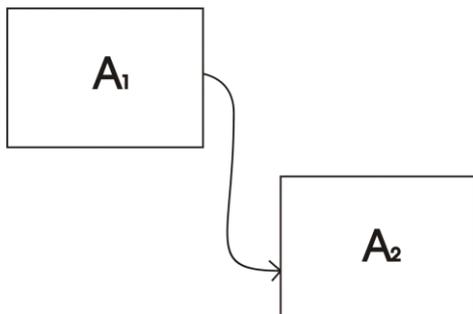
Рис. 2.1. Типы используемых дуг в модели *IDEF0*

Дуги *I* отражают ту информацию, которая необходима для реализации функции (*Input*). Выходящие дуги *O* отражают информацию,

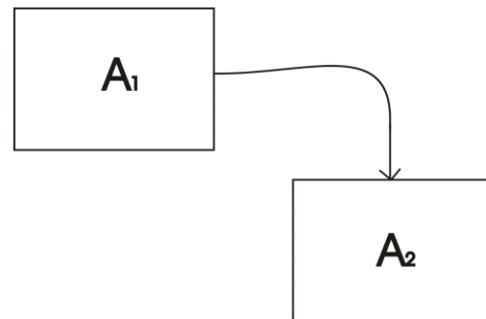
полученную в результате выполнения функции (*Output*). Дуги *C* определяют управление, т. е. то что обуславливает выполнение функции (стандарты, ограничения) (*Control*). Дуги *M* указывают механизм выполнения функции, т. е. то или что выполняет функция или с помощью чего она осуществляется (*Mexanismus*).

Между блоками с помощью дуг может образоваться пять типов связей (рис. 2.2).

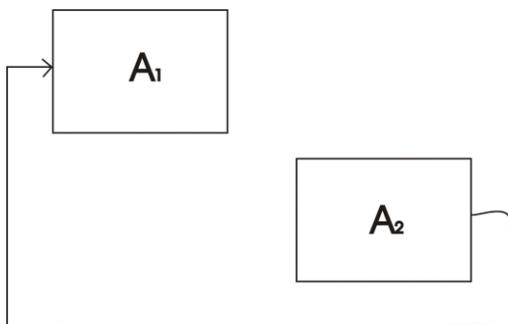
1) прямая связь



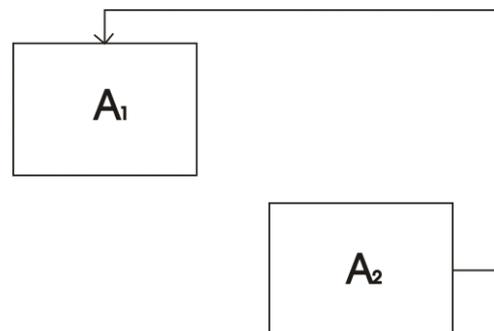
2) прямая связь по управлению



3) обратная связь по входу



4) обратная связь по управлению



5) выход – механизм

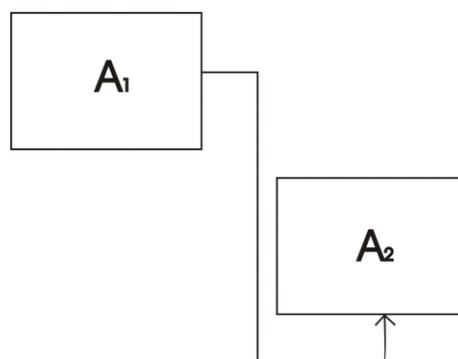


Рис. 2.2. Типы связей между блоками

На начальном этапе создания ИС необходимо понять, как работает организация, которую надо автоматизировать. Никто в организации не знает всех особенностей ее деятельности, которые необходимы для создания ИС, кроме руководителя, но он не в состоянии вникнуть в работу каждого рядового сотрудника. Рядовой сотрудник может хорошо выполнять свою работу, но плохо знает, что делают его коллеги.

Для построения эффективной информационной системы необходимо иметь исчерпывающие данные о длительных и краткосрочных потребностях в информации на предприятии. Для установления информационных потребностей организации используются две методологии: анализ предприятия, критические факторы успеха.

Анализ предприятия предполагает опрос большого числа менеджеров о том, как они используют информацию для принятия решения, откуда ее получают и каковы потребности менеджеров в данных. Этот метод требует огромного количества информационных материалов, которые дорого собирать и трудно анализировать – в этом слабость метода анализа.

Для установления информационной потребности организации может использоваться методология анализа, называемая критическим фактором успеха (КФУ), или стратегическим анализом. Для стратегического анализа выделяется небольшое число целей, на которых информационные системы могут сосредоточиться.

Метод, используемый в критических факторах успеха, – персональное интервью трех – четырех менеджеров, чтобы определить цели и критические факторы успеха организации. Персональные КФУ объединяются, чтобы сформировать на их основе КФУ фирмы. Затем системы строятся так, чтобы поставлять необходимую информацию относительно этих КФУ. Критическим фактором успеха организации могут быть:

- автоматизация производства;
- моделирование;
- квалификация исполнителей;
- потребляемая мощность и др.

Сила метода КФУ в том, что он принимает во внимание изменяющуюся среду, с которой организация и менеджеры должны иметь дело. Этот метод требует, чтобы менеджеры изучали окружающую среду и анализировали информационную потребность организации с целью определить, какая информация должна быть обработана.

Слабые стороны метода критических факторов успеха: процесс соединения частей и анализ данных можно назвать произвольными, нет упорядоченного способа соединения индивидуальных КФУ в ясную модель организации. Часто имеется несогласованность между индивидуальными и несогласованными КФУ. То что важно менеджеру, может быть неважно для организации.

Наиболее удобным языком моделирования бизнес-процессов является методология *IDEF0*, предложенная более чем 20 лет назад Дугласом Россом. Для описания работы предприятия строится модель с использованием программного продукта *BPWin* [5].

Обычно сначала строится модель существующей организации работы на предприятии (*AS-IS*). Анализ функциональной модели позволит определять, где находятся наиболее слабые места, в чем будут состоять преимущества предлагаемых информационных процессов и каким изменениям подвергнется существующая структура. Найденные в модели (*AS-IS*) недостатки исправляются при создании модели (*TO-BE*) новой организации бизнес-процессов.

*BPWin* позволяет легко обнаружить бесполезные, неуправляемые, простаивающие работы. Более тонкий анализ позволяет выявить повторяющиеся, избыточные и неэффективные работы. Модель дает целостное представление о работе системы и позволяет понять взаимосвязь ее составляющих. При этом часто можно выяснить, что существующий способ обработки информации и использование ресурсов неэффективны, важная информация не доходит до соответствующего рабочего места. Признаком неэффективной работы считается отсутствие обратных связей по входу и управлению для многих важных работ.

Невозможно построить эффективную информационную систему при неэффективной общей организации работ. Поэтому результатом анализа и критической оценки модели *AS-IS* как есть должно быть перенаправление информационных потоков и усовершенствование бизнес-потоков модели *TO-BE*, которые связаны с реорганизацией деятельности предприятия. При создании информационной системы модель процессов – это первый шаг, за которым следует создание модели данных.

Рассмотрим описание системы менеджмента качества (СМК) ПО «Полированное стекло» ОАО «Эй Джи Си Борский стекольный завод» (оригинальная разработка) [6].

Согласно *IDEFO* модель системы менеджмента качества описывается с помощью диаграмм, текста и глоссария. Диаграммы определяют взаимосвязи процесса (блоки) с исполнителями и объектами, выступающими в качестве входов (исходные материальные, информационные, финансовые и другие ресурсы), управлениями (ГОСТы, СТП, инструктивные материалы, нормативные документы, приказы, распоряжения, ограничения на выполнение) и выходами (результаты выполнения процесса).

Модель *IDEFO* является иерархически организованной совокупностью диаграмм. Диаграмма верхнего уровня содержит один блок А-0, образуя концептуальную модель СМК ПО (рис. 2.3). Диаграмма верхнего уровня А0 состоит из блоков с нумерацией А1 – А7. Каждый блок диаграммы может рассматриваться как отдельный блок и состоять из блоков и дуг и т. д. [4].

Функциональная модель системы менеджмента качества ПО «Полированное стекло» строится с точки зрения руководителя СМК. Такой подход позволяет учесть все процессы, влияющие на качество полированного стекла и процессов. Модель должна охватывать все стадии жизненного цикла продукции, а также связанные с ними вспомогательные процессы и процессы менеджмента, входящие в состав деятельности ОАО «Эй Джи Си Борский стекольный завод».

Разработка диаграмм, описывающих функциональную модель системы менеджмента качества ПО «Полированное стекло», проводилась с использованием *CASE* – средств автоматизации проектирования и моделирования информационных систем – программы *VPwin*.

Диаграмма верхнего уровня содержит один блок А-0 (см. рис. 2.3), образуя концептуальную диаграмму СМК ПО «Полированное стекло». Она, во-первых, служит родительской диаграммой для остальных диаграмм, объявляет общую функцию всей системы – управлять качеством в ПО «Полированное стекло», т. е. указывает, что делает система менеджмента качества. Во-вторых, дает множество основных типов данных, которые использует или производит система.

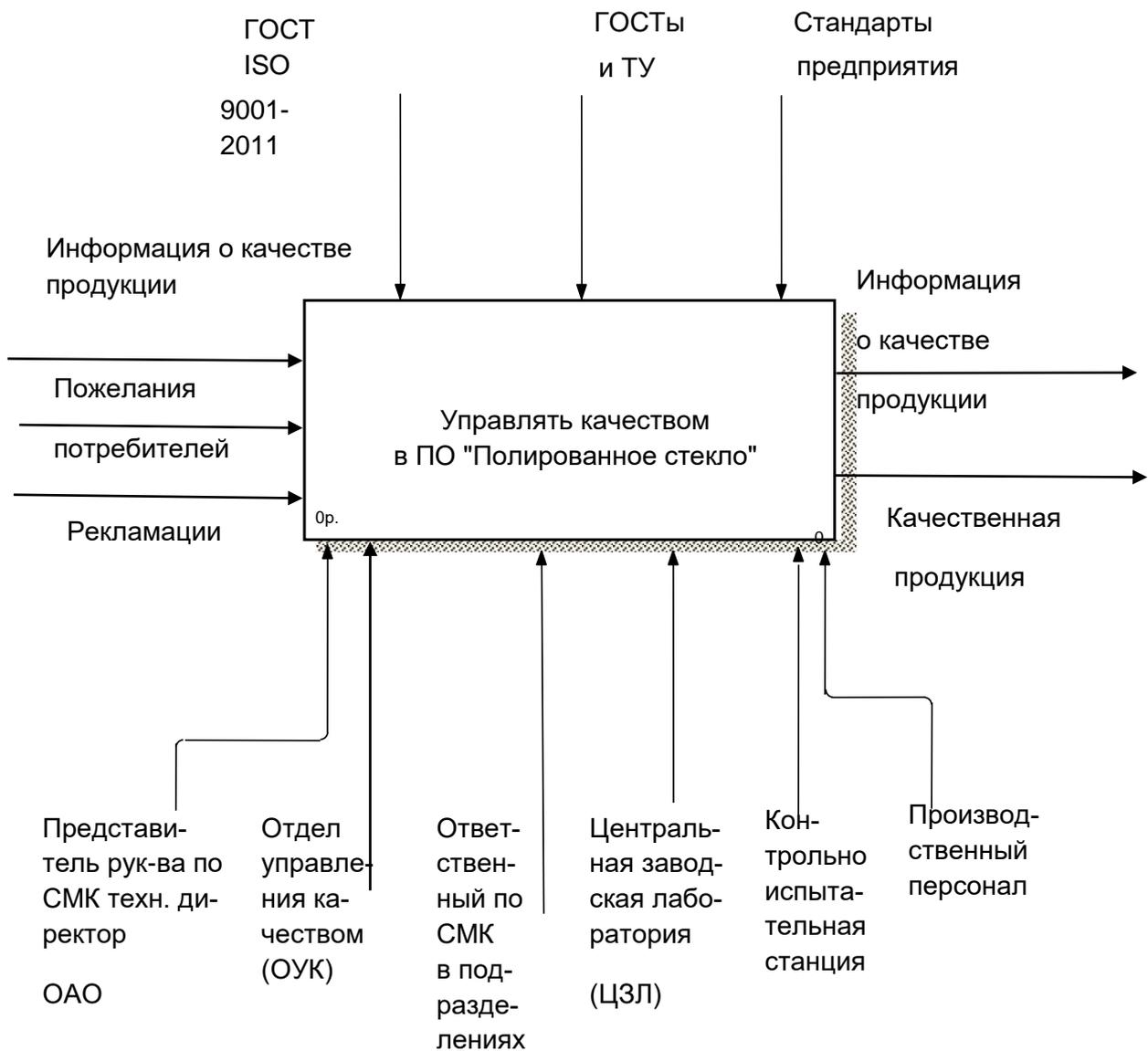


Рис. 2.3. Диаграмма А-0. Концептуальная модель СМК ПО «Полированное стекло»

Например, стандарты ИСО и ГОСТы позволяют осуществлять менеджмент качества листового стекла.

В-третьих, диаграмма указывает взаимоотношения между основными типами данных, проводя их разграничение. Например, пожелания потребителей рассматриваются как входное данные, изменяемое (реализуемое) процессом, в то время как отдел управления качеством проводит организационно-методическое и научно-техническое руководство работами по менеджменту качества в ПО «Полированное стекло».

Декомпозиция всей системы начинается с составления списка основных типов данных и основных функций. В список данных вносятся основные группы и категории данных, используемые и генерируемые системой. Разрабатываемые диаграммы представляют границы функций и ограничения, накладываемые на них. Ограничения должны присутствовать во всех системах. Указывая ограничения, выявляют естественную структуру системы. Без ограничительных дуг диаграммы не смогут рассказать читателю, почему разработчик выбрал именно данную декомпозицию. Благодаря тому что различают входные дуги и дуги управления, необходимые для пояснения декомпозиции, разработанные диаграммы объясняют изучаемую систему и причину такой декомпозиции.

Закончив список данных, приступают к составлению списка функций. Для этого представляют функции системы, использующие тот или иной класс или набор данных. Несколько различных типов данных могут использоваться одной функцией. Это позволяет выделить данные сходных типов, которые можно объединить в метатипы. Необходимо внимательно анализировать каждую функцию и ее отношение к группам данных. Надо стараться выбирать такие функции, которые могли бы работать с наиболее общими типами данных из списка. Затем функции объединяют в агрегаты, их число должно составить 3 – 6 функциональных группировок. Созданные группировки должны иметь одинаковый уровень сложности.

Используя метатипы данных и функциональные группировки, создают диаграмму верхнего уровня А0 (рис. 2.4). Диаграмма А0 состоит из блоков с нумерацией А1 – А7. Каждый блок диаграммы рассматривается как отдельный блок и сам, в свою очередь, состоит из блоков и дуг и т. д. На рис. 2.5 в качестве примера приведена декомпозиция блока А2.

Разработанные диаграммы подвергаются авторской проверке с целью выявления и устранения недостатков. Затем они рецензируются экспертами – руководителями и специалистами СМК ПО «Полированное стекло».

Разработанные диаграммы могут дополняться информацией в виде текстов, рисунков и глоссариев. Текст содержит рассказ о каких-либо частях диаграммы. Рисунками поясняют отдельные моменты. Глоссарий – это набор определенных объектов и функций, представленных на диаграмме.

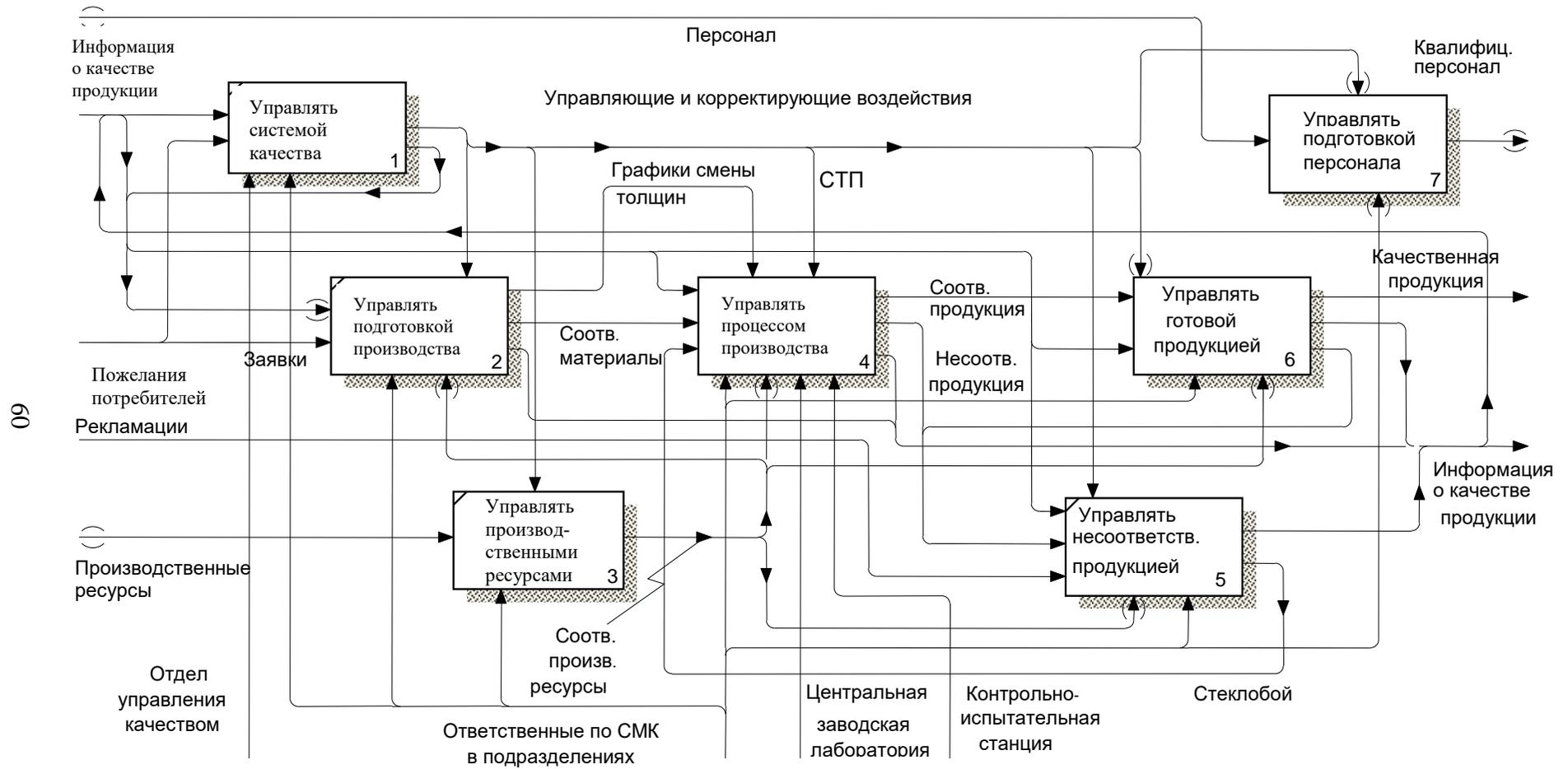


Рис. 2.4. Диаграмма А0. Управлять качеством в ПО «Полированное стекло»

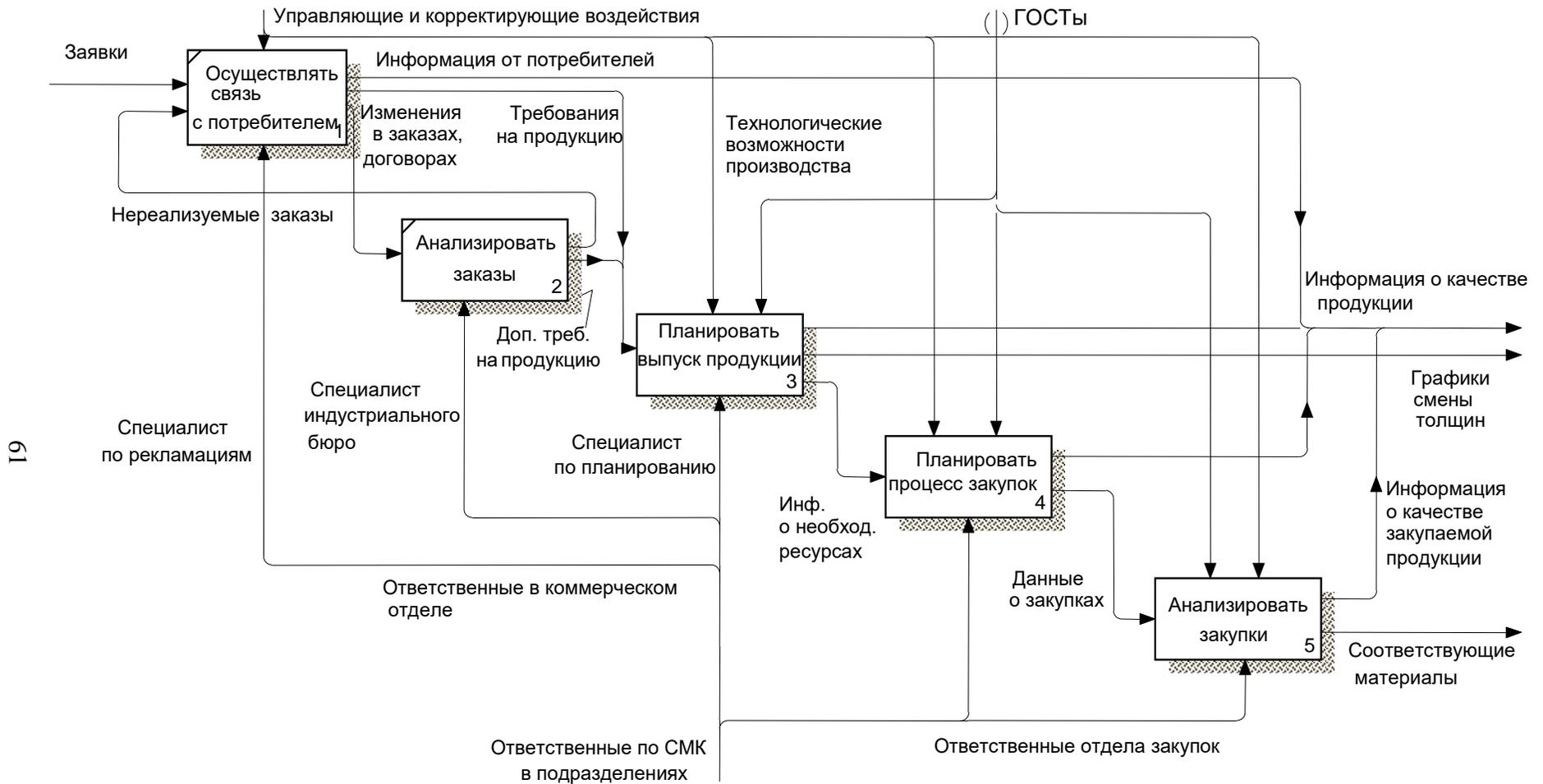


Рис. 2.5. Диаграмма А2. Управлять качеством подготовки производства

Набор диаграмм с описанием блоков и стрелок образует процессную модель «как есть» системы менеджмента качества ПО «Полированное стекло».

## **2.2. Описание документооборота и обработки информации в информационной системе**

Программа *BPWin* позволяет создавать смешанные модели, т. е. в рамках одной модели могут быть связанные между собой модели: *IDEF0*, *DFD*, *IDEF3*. Такой подход позволяет описать интересующие нас аспекты и подсистемы.

Модель *DFD* (*Data Flow Diagramming*) используется для описания документооборота и обработки информации. Ее можно использовать как дополнение к модели *IDEF0* для наглядного отображения текущих операций документооборота в больших системах обработки информации. *DFD* описывает функции обработки информации, т. е. участвует в ее обработке. В отличие от модели *IDEF0* для стрелок нет понятий «вход» и «выход» и не важно, в какую грань бока входят или выходят дуги. Наличие в диаграммах *DFD* элементов описания источников приемников и хранилищ данных позволяет более наглядно описать процесс документооборота.

С помощью модели *DFD* система разбивается на функциональные компоненты (процессы) и представляется в виде сети, связанной потоками данных. Главная цель таких средств – продемонстрировать, как каждый процесс преобразует свои входные данные в выходные, а также выявить отношения между этими процессами.

### ***Описание информационных характеристик системы***

Информационные связи между подсистемами различных уровней принято называть вертикальными, а между подсистемами одного уровня – горизонтальными.

Информация служит целезадающим, объединяющим, координирующим условием, осуществляющим информационную и интеллектуальную поддержку выработки решения в системах управления.

В процессе исследования информационных характеристик систем определяются:

– сущность и качество информации, используемые для выработки управляющих воздействий;

- достаточность информации для выработки управляющих воздействий;
- суммарные объемы поступающей и исходящей информации в единицу времени в целом по системе и отдельно по основным элементам;
- объем информации, постоянно хранящейся в системе;
- единичные объемы передаваемой информации;
- способы передачи или доставки информации;
- основные направления информационных потоков и др.

В настоящее время известно около 90 разновидностей структурного системного анализа. Все активно используемые методологии могут быть разбиты на две группы: применяющие методы и технологию диаграмм потоков данных *DFD* и использующие *SADT*-методологию, ее стандартное подмножество *IDEF0*. Существенное различие между разновидностями структурного анализа заключается в методах и средствах функционального моделирования. Соотношение в применении этих разновидностей анализа составляет 90 % для *DFD* и 10 % для *SADT* [6]. Одним из критериев выбора той или иной методологии структурного анализа является насколько хорошо каждым из этих языков владеет аналитик и насколько грамотно он может на этом языке выражать свои мысли.

В пособии будем рассматривать *DFD*-технологию, использующую графические и текстовые средства моделирования.

Основная модель – диаграмма *DFD* – показывает внешние по отношению к системе адресаты и адресанты данных, идентифицирует логические функции (процессы) и группы элементов данных, связывающие одну функцию с другой (потоки), а также накопители (хранилища) данных, к которым осуществляется доступ. Структуры потоков данных и определения их компонентов хранятся и анализируются в словаре данных. Каждая логическая функция может детализироваться с помощью *DFD* нижнего уровня; когда дальнейшая детализация перестает быть полезной, переходят к выражению логики функции при помощи спецификации процесса нижнего уровня (мини-спецификации). Содержание каждого накопителя сохраняют в словаре данных. Модель данных накопителя раскрывается с помощью *ERD* диаграммы.

Базовая нотация *DFD* включает в себя четыре объекта:

1. Поток данных, который используется для моделирования передачи информации из одной части системы в другую.
2. Назначение процесса заключается в продуцировании выходных потоков из входных в соответствии с действием, задаваемым именем процесса.

Символ процесса включает три разделенных горизонтальными чертами поля (рис. 2.6):



Рис. 2.6. Изображение процесса

- верхнее поле содержит номер процесса (КД – контекстная диаграмма, ДПД – диаграмма потоков данных, МС – мини-спецификация);
- среднее – имя процесса;
- нижнее – имя исполнителя процесса (подразделение, должность, механизм и др.).

Накопитель данных служит для сохранения данных вне процесса (рис. 2.7). Информация накопителя может использоваться в любое время. Имя накопителя идентифицирует его содержимое, для ссылки идентифицируется буквами «БД». Можно создавать копии накопителя, при этом номер соответствующей копии фиксируется под идентификатором накопителя.

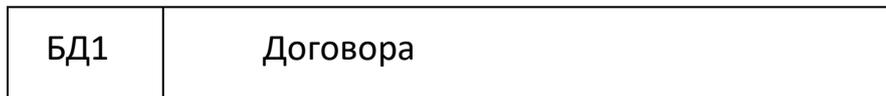


Рис. 2.7. Изображение накопителя



Рис. 2.8. Изображение внешней сущности

3. Внешняя сущность представляет сущность вне контекста системы, является источником или приемником системных данных. Внешняя сущность идентифицируется (рис. 2.8).

На диаграмме верхнего уровня может находиться один информационный поток, а при детализации на диаграммах нижнего уровня может выясниться, что этот поток – результат слияния нескольких потоков. Такое слияние осуществляется через информационный канал (например, курьерская служба, почта, магистраль или шина данных и др.).

Информационный канал должен содержать поле имени и поле номера копии (рис. 2.9).

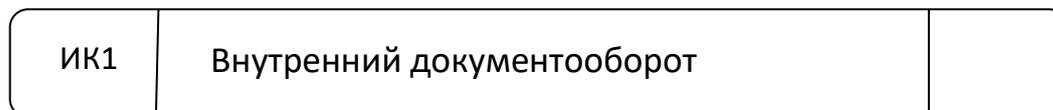


Рис. 2.9. Изображение информационного канала

Контекстная диаграмма *DFD* моделирует систему наиболее общим образом. Она отражает интерфейс системы с внешним миром – информационные потоки между системой и внешними сущностями, идентифицирует внешние сущности.

*DFD* первого уровня строится как декомпозиция процесса, соответствующего контекстной диаграмме. Процессы первого уровня также могут декомпозироваться в *DFD* нижнего уровня.

Мини-спецификации (МС) используются для описания функционирования процесса в случае отсутствия детализации его с помощью *DFD*. МС представляет собой алгоритм описания задач, выполняемых процессом. МС содержит номер и имя процесса, список входных и выходных данных и тело процесса, являющееся спецификацией алгоритма, или операций, преобразующего входные потоки данных в выходные.

Помимо функциональной декомпозиции *DFD* рекомендует при необходимости проводить декомпозицию данных, которая задается словарем данных, представляющим собой список всех потоков данных системы с их точными определениями.

Для упрощения анализа и достижения понятности при построении *DFD* необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

- размещать на каждой диаграмме от 3 до 6 – 7 процессов;
- не загружать диаграммы несущественными на данном уровне деталями;
- декомпозицию потока данных осуществлять параллельно с декомпозицией процессов;
- выбирать ясные, отражающие суть дела имена процессов и потоков данных.

Адекватное описание процессов достигается с помощью моделирования. Для моделирования СМК ОАО «Эй Джи Си Борский стекольный завод» использована *DFD*-технология, позволяющая разбивать систему на функциональные компоненты (процессы), представлять их в виде сети, связанной потоками данных. *DFD*-технология позволяет продемонстрировать, как каждый процесс преобразует свои входные данные в выходные, а также выявить отношения между этими процессами (оригинальная разработка) [7].

Контекстная модель системы менеджмента качества стекольного завода изображена на рис. 2.10.

А-0. Управлять качеством – самая общая функция системы менеджмента качества по ГОСТ ISO 9001-2011.

Стратегическая информация – входная (внешняя) информация, имеющая для СМК стекольного завода стратегическое значение (например, информация о качестве продукции конкурентов и т. п.).

Внешние документы – входная (внешняя) информация, представленная в виде документов, поступающих в СМК (например, заявки, письма и т. п.).

Документы претензионного характера – внешняя информация, имеющая негативный характер и поступающая в СМК от потребителей продукции.

Информация от сторонних организаций – внешняя информация от сторонних организаций, прежде всего тех, которые выполняют какие-либо работы в рамках процессов жизненного цикла продукции.

ГОСТ ISO 9001-2011 – межгосударственный стандарт «Системы менеджмента качества. Требования».

Законодательство РФ – законодательство Российской Федерации как федеральное, так и местное.

Информация о качестве – информация о качестве процессов и продукции, формируемая и предоставляемая СМК.

Качественная продукция – выходная продукция, соответствующая требованиям по качеству.

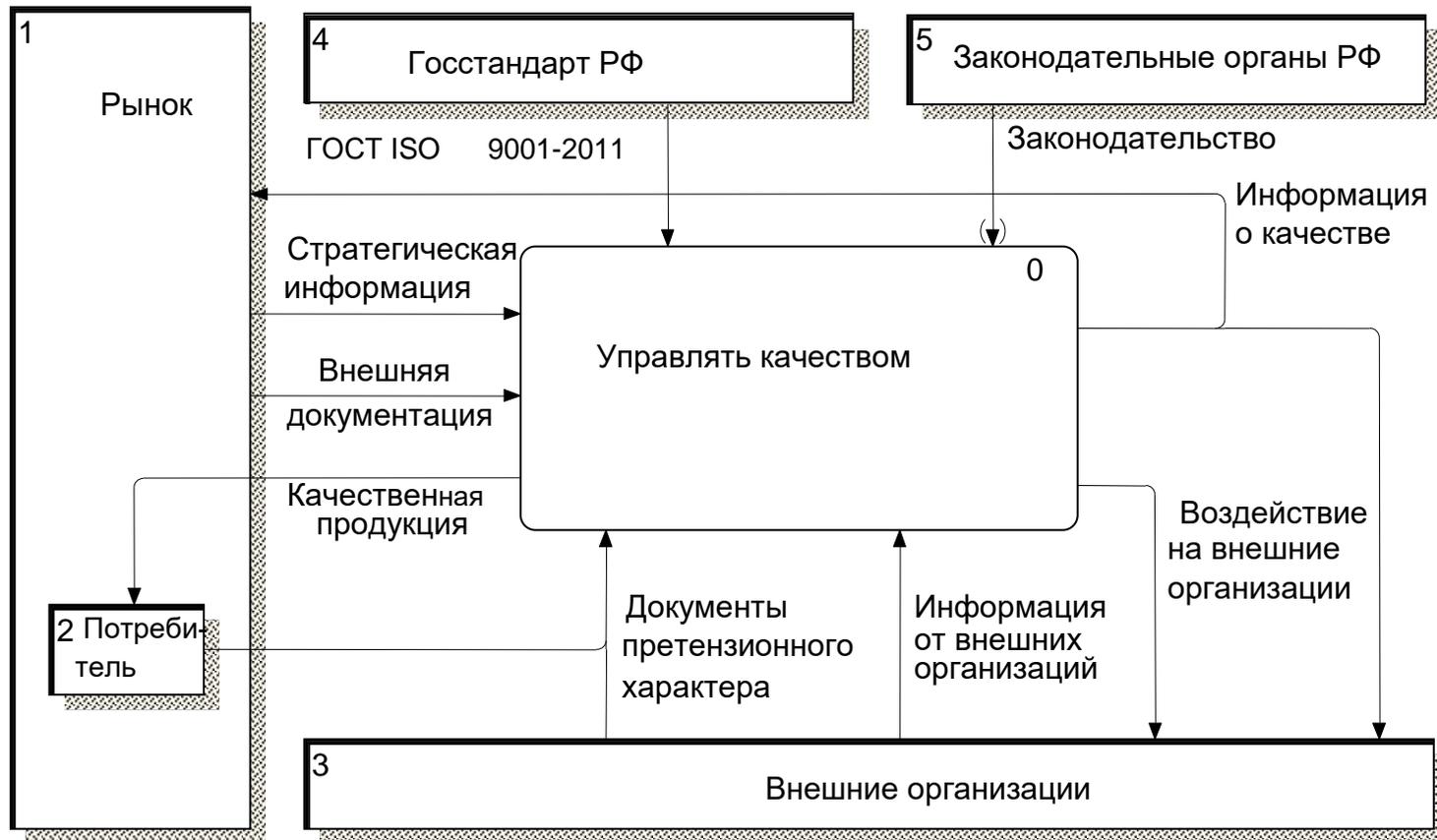


Рис. 2.10. Диаграмма А-0. Управлять качеством

Воздействие на сторонние организации – любое воздействие СМК на сторонние организации (не входящие в стекольный завод), прежде всего те, которые выполняют какие-либо работы в рамках процессов жизненного цикла продукции.

Высшее руководство – высшее руководство стекольного завода.

Представитель руководства по СМК – специально назначенный представитель высшего руководства в СМК.

Ответственные за функционирование СМК – должностные лица стекольного завода, ответственные за функционирование системы менеджмента качества.

Подразделения-исполнители – подразделения стекольного завода, непосредственно выполняющие работы в рамках СМК.

Сторонние организации – организации, не входящие в состав стекольного завода, но выполняющие какие-либо работы в рамках процессов жизненного цикла продукции.

Спецификации процесса «Управлять качеством» приведены ниже:

А-0. Управлять качеством

ПРОЦЕСС: управлять качеством

ВХОД: стратегическая информация; внешняя документация; ГОСТ ISO 9001-2011; законодательство; документы претензионного характера; информация от внешних организаций.

ВЫХОД: качественная продукция; информация о качестве; воздействие на внешние организации.

ПОДПРОЦЕССЫ:

А1 – осуществлять менеджмент ресурсов;

А2 – реализовывать ответственность руководства;

А3 – управлять документацией;

А4 – реализовывать процессы жизненного цикла продукции;

А5 – измерять, анализировать и улучшать.

На рис. 2.11 приведена модель верхнего уровня СМК. Эта диаграмма на основе стандарта ГОСТ ISO 9001-2011 детализирует контекстную диаграмму, указывая пять макропроцессов системы менеджмента качества: осуществлять менеджмент ресурсов, реализовывать ответственность руководства, управлять документацией, реализовывать процессы жизненного цикла продукции, измерять, анализировать и улучшать.



Спецификация микропроцессов верхнего уровня имеет следующий вид.

**А0. Управлять качеством**

**ПРОЦЕСС:** осуществлять менеджмент ресурсов.

**ВХОД:** человеческие ресурсы; финансовые ресурсы; документы СМК; материальные ресурсы; определение ресурсов, планов развития.

**ВЫХОД:** ресурсы; информация о качестве.

**ПОДПРОЦЕССЫ:**

- управлять человеческими ресурсами;
- определять, обеспечивать и поддерживать инфраструктуру;
- создавать и поддерживать производственную среду.

**ПРОЦЕСС:** реализовывать ответственность руководства.

**ВХОД:** информация от внешних организаций; внешняя документация; стратегическая информация; информация о качестве; информация о текущем состоянии системы; документы СМК.

**ВЫХОД:** результаты анализа со стороны руководства; воздействие на внешние организации; руководящие указания.

**ПОДПРОЦЕССЫ:**

- гарантировать выполнение требований потребителей;
- определять политику СМК;
- осуществлять планирование развития СМК;
- распределять ответственность и полномочия, обеспечивать информационный обмен;
- осуществлять анализ со стороны руководства.

**ПРОЦЕСС:** управлять документацией.

**ВХОД:** внешняя документация; стандарты; информация о качестве; руководящие указания; информация о текущем состоянии системы.

**ВЫХОД:** документы СМК.

**ПОДПРОЦЕССЫ:**

- разрабатывать документацию и формы записей;
- управлять документами;
- управлять записями.

**ПРОЦЕСС:** реализовывать процессы жизненного цикла продукции.

**ВХОД:** внешняя документация; ресурсы (в том числе улучшенные); документы СМК; информация о качестве.

**ВЫХОД:** материальные ресурсы; качественная продукция; записи СМК.

**ПОДПРОЦЕССЫ:**

- планировать процессы жизненного цикла продукции;
- определять и анализировать требования потребителей;
- проектировать и разрабатывать;
- осуществлять закупки;
- производить и обслуживать;
- управлять устройствами для мониторинга и измерений.

**ПРОЦЕСС:** измерять, анализировать и улучшать.

**ВХОД:** стратегическая информация; документы претензионного характера; результаты анализа со стороны руководства; записи СМК; руководящие указания; требования к продукции; документы СМК; ресурсы.

**ВЫХОД:** информация о качестве; информация о текущем состоянии системы; ресурсы (улучшенные).

**ПОДПРОЦЕССЫ:**

- проводить мониторинг и измерения;
- управлять несоответствующей продукцией;
- анализировать данные;
- улучшать, вырабатывать корректирующие действия.

Далее каждый макропроцесс модели верхнего уровня был подвергнут декомпозиции. Глубина декомпозиции зависит от целей исследования бизнес-процессов. Дальнейшая детализация бизнес-процессов осуществляется посредством бизнес-функций, она завершается на уровне бизнес-операций (задание алгоритма ее выполнения).

На рис. 2.12 в качестве примера приведена декомпозиция диаграммы А1 – осуществлять менеджмент ресурсов.

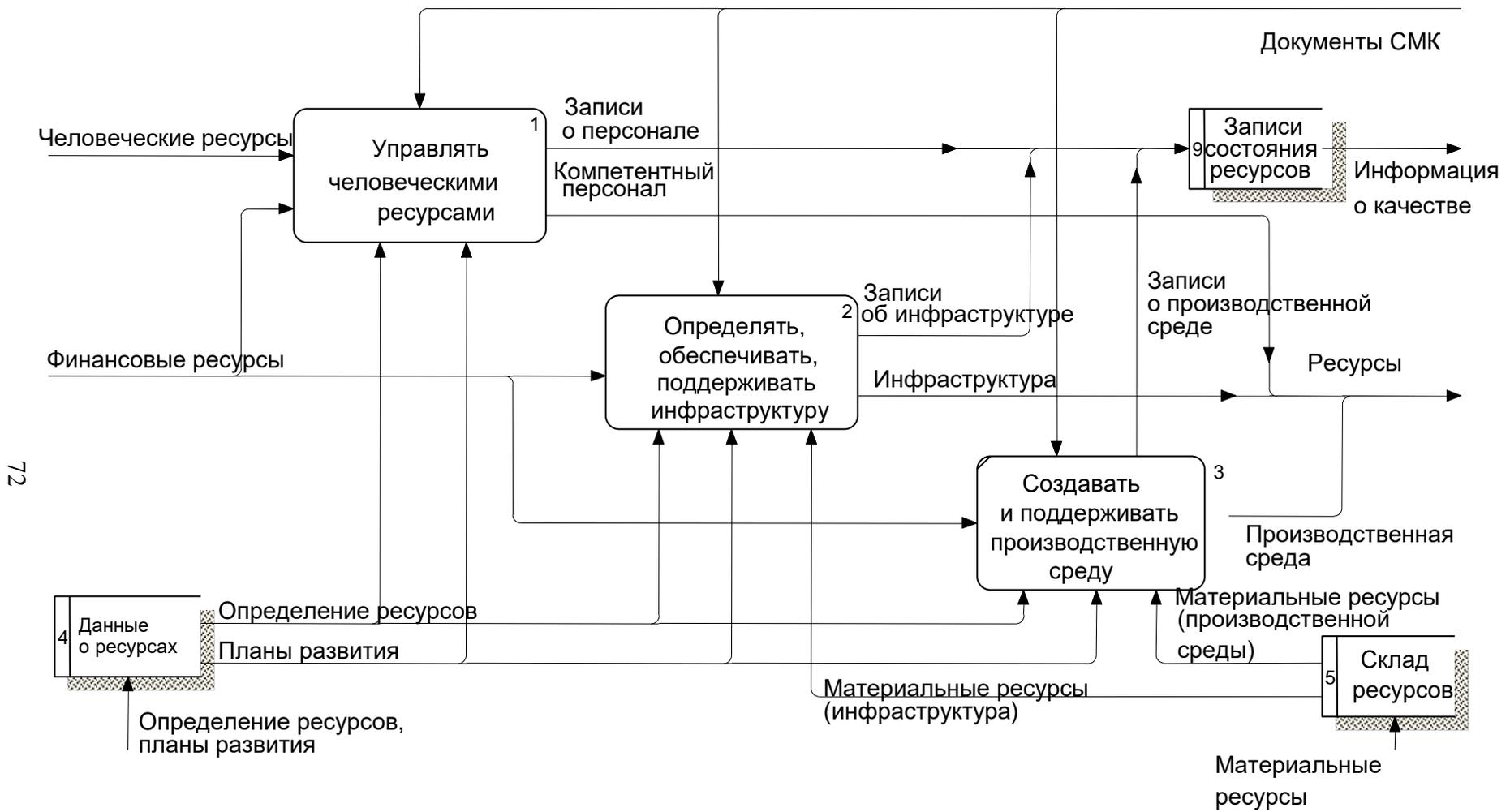


Рис. 2.12. Диаграмма А1. Осуществлять менеджмент ресурсов

Спецификации данного процесса приводятся ниже:

А1 – осуществлять менеджмент ресурсов.

ПРОЦЕСС: управлять человеческими ресурсами.

ВХОД: человеческие ресурсы; финансовые ресурсы; документы СМК; определение ресурсов; планы развития.

ВЫХОД: записи о персонале; компетентный персонал.

ПОДПРОЦЕССЫ:

- определять необходимую компетентность персонала;
- обеспечивать подготовку персонала;
- оценивать результативность предпринимаемых мер по подготовке;
- обеспечивать осведомленность персонала о важности его деятельности;
- поддерживать в рабочем состоянии соответствующие записи.

ПРОЦЕСС: определять, обеспечивать и поддерживать инфраструктуру.

ВХОД: финансовые ресурсы; документы СМК; определение ресурсов; планы развития; материальные ресурсы (инфраструктура).

ВЫХОД: записи об инфраструктуре; инфраструктура.

ПОДПРОЦЕССЫ:

- определять, обеспечивать и поддерживать здания, рабочее пространство и средства труда;
- определять, обеспечивать и поддерживать оборудование для процессов;
- определять, обеспечивать и поддерживать службы обеспечения (транспорт, связь и т. п.).

ПРОЦЕСС: создавать и поддерживать производственную среду.

ВХОД: финансовые ресурсы; документы СМК; определение ресурсов; планы развития; материальные ресурсы (производственная среда).

ВЫХОД: записи о производственной среде; производственная среда.

АЛГОРИТМ:

На основании определения ресурсов, планов развития, имеющихся материальных ресурсов определить рабочую среду, необходимую для достижения соответствия продукции сформированным требованиям. При постоянном финансировании поддерживать рабочую среду в соответствующем состоянии и управлять ею.

После разработки процессная модель СМК была подвергнута чтению и экспертизе специалистами ОАО «Борский стекольный завод», что гарантировало выполнение требований стандартов на систему менеджмента качества и учет особенностей стекольного завода.

Для описания логики взаимодействия информационных потоков применяют методологию *IDEF3* [5]. Она использует графическое отображение информационных потоков, взаимоотношение между процессами обработки информации и объектами. С помощью модели *IDEF3* можно описать сценарий действий сотрудников организаций.

Каждый сценарий сопровождается описанием процесса и может использоваться для документооборота каждой функции.

### **2.3. Описание данных информационной системы**

Цель этого материала – изучение принципов описания и разработки предметной области в виде информационной модели (*IDEF1X*), используемой при проектировании ИС [8, 9].

Важнейшая цель создания информационной модели заключается в выработке непротиворечивой интерпретации данных и взаимосвязей между ними с тем, что необходимо для интеграции, совместного использования и управления целостностью данных.

Появление понятия концептуальной схемы данных привело к методологии семантического моделирования данных, т. е. определению значений данных в контексте их взаимосвязей с другими данными.

В 1983 году в рамках проекта военного ведомства США «Интегрированные системы информационной поддержки» (*ICAM*) была создана методология семантического моделирования данных *IDEF1X* (расширение методологии *IDEF1*), позволяющая логически и физически объединить в сеть неоднородные вычислительные системы.

Методология *IDEF1X* – один из подходов к семантическому описанию и моделированию данных, основанный на концепции Сущность – Отношение (*Entity – Relationship*), это инструмент для анализа информационной структуры систем различной природы. Информационная модель, построенная с помощью *IDEF1X*-методологии, представляет логическую структуру информации об объектах системы. Эта информация служит необходимым дополнением функциональной модели

*IDEF0*, детализирует объекты, которыми манипулируют функции системы. Концептуально *IDEF1X*-модель можно рассматривать как проект логической схемы базы данных для проектируемой системы.

**Сущности.** «Сущность» представляет множество реальных или абстрактных предметов (людей, объектов, мест, событий, состояний, идей, пар предметов и т. д.), обладающих общими атрибутами или характеристиками. Отдельный элемент этого множества называется «экземпляром сущности».

Каждая сущность может обладать любым количеством отношений с другими сущностями. Сущность является «независимой», если каждый экземпляр сущности может быть однозначно идентифицирован без определения его отношений с другими сущностями. Сущность называется «зависимой», если однозначная идентификация экземпляра сущности зависит от его отношений к другой сущности.

Сущность обладает одним или несколькими атрибутами, которые либо принадлежат сущности, либо наследуются через отношение. Сущность обладает одним или несколькими атрибутами, которые однозначно идентифицируют каждый образец сущности. Каждая сущность может обладать любым количеством отношений с другими сущностями модели.

Если внешний ключ целиком используется в качестве первичного ключа или его части, то сущность будет зависимой от идентификатора. И, наоборот, если используется только часть внешнего ключа или вообще не используются внешние ключи, то сущность является независимой от идентификатора.

**Отношения.** Отношение связи, называемое также «отношение родитель-потомок» – это связь между сущностями, при которой каждый экземпляр одной сущности, называемой родительской сущностью, ассоциирован с произвольным (в том числе нулевым) количеством экземпляров другой сущности, называемой сущностью-потомком, а каждый экземпляр сущности-потомка ассоциирован в точности с одним экземпляром сущности-родителя.

Если экземпляр сущности-потомка однозначно определяется своей связью сущностью-родителем, то отношение называется «ассоциирующим», в противном случае – неидентифицирующим.

Отношение связи изображается линией, проводимой между сущностью-родителем и сущностью-потомком с точкой на конце линии у сущности-потомка. Идентифицирующее отношение изображается сплошной линией, пунктирная линия отражает неидентифицирующее отношение.

Отношению дается имя, выраженное грамматическим оборотом глагола. Имя отношения всегда формируется с точки зрения родителя, так что может быть образовано предложение, если соединить и имя сущности-потомка.

Отношение дополнительно определяется с помощью указания мощности: какое количество экземпляров сущности-потомка может существовать для каждого экземпляра сущности-родителя.

Так как некоторые реально существующие объекты являются категориями других реально существующих объектов, то некоторые сущности должны быть категориями других сущностей.

Неспецифическое отношение, называемое также «отношением многого ко многому» – это связь между двумя сущностями, при которой каждый экземпляр первой сущности связан с произвольным (в том числе нулевым) количеством экземпляров второй сущности, а каждый экземпляр второй сущности связан с произвольным (в том числе нулевым) количеством экземпляров первой сущности.

**Атрибуты.** Сущность обладает одним или несколькими атрибутами, которые являются либо собственными для сущности, либо наследуются через отношение. Атрибуты однозначно идентифицируют каждый экземпляр сущности.

Каждый атрибут идентифицируется уникальным именем. Атрибуты изображаются в виде списка их имен внутри блока ассоциированной сущности, причем каждый атрибут занимает отдельную строку. Определяющие первичный ключ атрибуты размещаются наверху списка и отделяются от других атрибутов горизонтальной чертой (рис. 2.13).

Правила атрибутов:

1. Каждый атрибут должен иметь уникальное имя, одному и тому же имени должно соответствовать одно и то же значение. Одно и то же значение не может соответствовать различным именам.

2. Сущность может обладать любым количеством атрибутов. Каждый атрибут принадлежит в точности одной сущности.

3. Сущность может обладать любым количеством наследуемых атрибутов, но наследуемый атрибут должен быть частью первичного ключа, соответствующей сущности-родителя или общей сущности.

4. Для каждого экземпляра сущности должно существовать значение каждого его атрибута (правило необращения в нуль).

5. Ни один из экземпляров сущности не может обладать более чем одним значением для связанного с ней атрибута (правило неповторения).



Рис. 2.13. Отношения между сущностями

Стрелки в модели процессов *IDEF0* обозначают некоторую информацию, используемую в моделируемой системе. *ERWin* поддерживает два уровня представления моделей: логический и физический.

Логический уровень не зависит от конкретной реализации базы данных и позволяет наглядно представлять данные для обсуждения с экспертами предметной области. Физический уровень является отражением системного каталога БД и зависит от конкретной реализации базы данных. На логической модели информация отображается в виде сущностей, а сущность – в виде блоков. Каждая сущность состоит из совокупности записей. Логическому блоку в физической модели данных соответствует таблица. Атрибутам логической модели соответствуют колонки таблицы физической модели. Каждому экземпляру сущности соответствует запись в таблице (одна строка таблицы).

К модели данных предъявляются определенные требования, которые называются нормализацией данных. Нормализация необходима

для обеспечения компактности и непротиворечивости хранения данных, т. е. каждый факт должен храниться в одном месте. Это приводит к тому, что вся информация, которая моделируется в виде стрелки на модели процессов, может содержаться в нескольких сущностях или атрибутах сущностей. Кроме того, на модели процессов могут присутствовать разные стрелки, изображающие одни и те же данные разных этапов обработки.

Рассмотрим варианты соответствия процесс – сущность

1. Стрелке в моделях процессов может соответствовать отдельная сущность в модели данных (рис. 2.14).

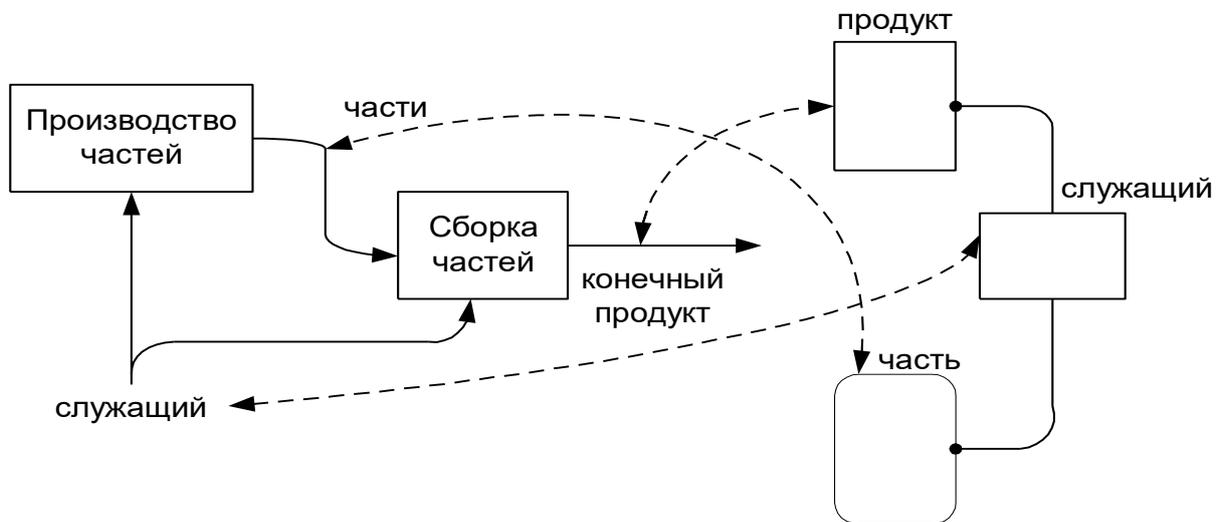


Рис. 2.14. Преобразование стрелки в сущность

2. Информация о стрелке может содержаться только в атрибутах одной из сущностей, следовательно, разным атрибутам соответствуют разные стрелки на моделях процессов (рис. 2.15).

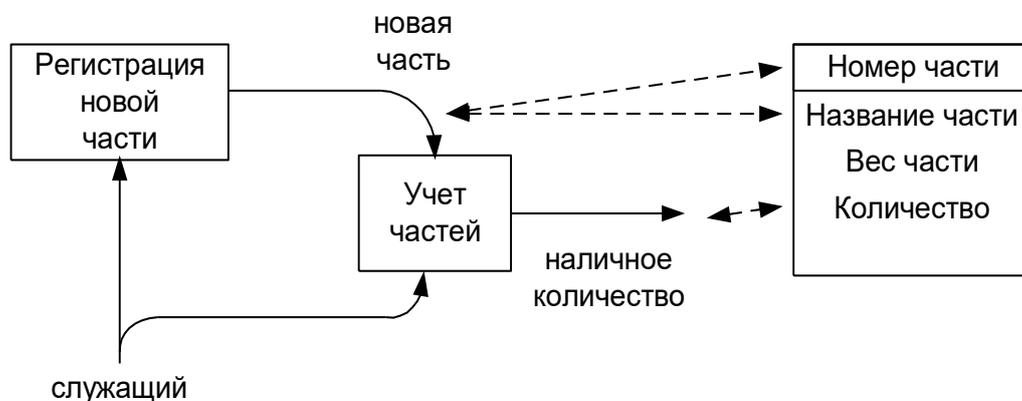


Рис. 2.15. Преобразование стрелки в атрибут

3. Работы в моделях процессов могут создавать или изменять данные, которые соответствуют входящим или выходящим стрелкам (рис. 2.16).

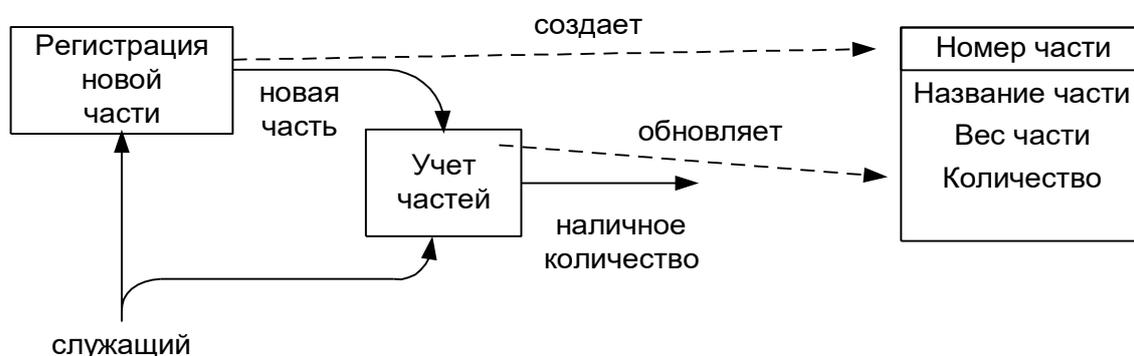


Рис. 2.16. Воздействие работы на сущность

4. Работы в моделях процессов могут воздействовать на атрибуты сущности (рис. 2.17).

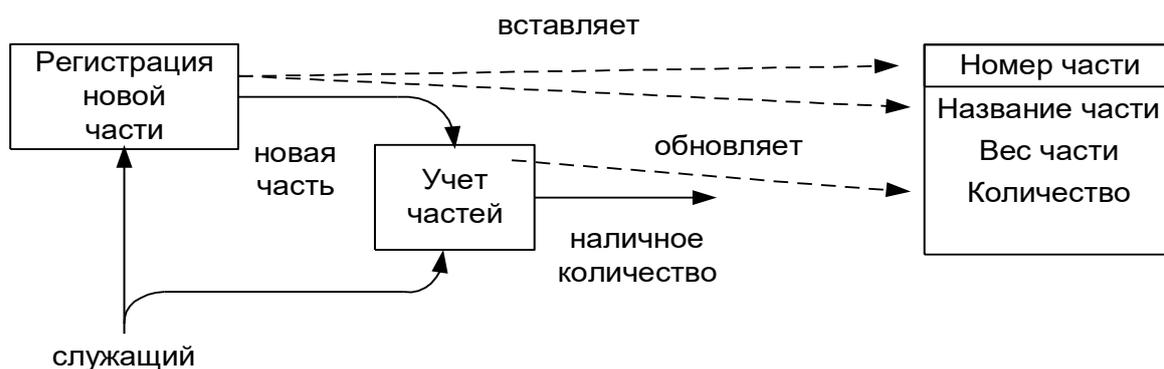


Рис. 2.17. Воздействие работы на атрибут сущности

Программа *BPWin* позволяет связывать элементы моделей данных, создаваемых с помощью *ERWin*, документировать влияние работ на данные и таким образом создавать спецификации на права доступа к данным для каждого процесса.

### ***Создание модели данных с помощью программы Erwin***

Построение модели данных предполагает определение сущностей и атрибутов, т. е. необходимо определить, какая информация будет храниться в конкретной сущности или атрибуте. Сущность можно определить как объект, событие или концепцию информации, которая должна сохраняться. Сущности должны иметь наименование с четким смысло-

вым значением, именоваться существительными в единственном числе, быть достаточно важными, чтобы их моделировать, для создания моделей в *ERwin* могут использоваться две нотации: *IDEF1x*, *IE*.

Сотрудник

Наименование отдела
Номер служащего
Номер паспорта
Фамилия
Имя
Отчество
Дата рождения
Руководитель отдела

Рис. 2.18. Сущность «сотрудник»

Каждый атрибут сущности хранит информацию об определяемых свойствах сущности, каждый экземпляр сущности должен быть уникальным. Атрибут или группа атрибутов, которые идентифицируют сущность, называется первичным ключом (рис. 2.18).

При определении первичного ключа может быть рассмотрено несколько наборов атрибутов, которые называются потенциальными ключами. Так, например, при рассмотрении сущности «сотрудник» потенциальными ключами могут быть:

- фамилия, имя, отчество, дата рождения;
- номер паспорта;
- табельный номер;
- отдел.

Из этих потенциальных ключей надо выбрать первичный ключ, к которому предъявляются определенные требования:

- 1) он должен однозначно идентифицировать экземпляры сущности;
- 2) должен быть компактен, т. е. удаление любого атрибута из состава первичного ключа должно приводить к потере уникальности экземпляра сущности;
- 3) каждый атрибут из состава первичного ключа не должен принимать нулевое значение;
- 4) каждый атрибут первичного ключа не должен менять своего значения в течение всего времени существования экземпляра сущности.

Потенциальные ключи, не ставшие первичными, называются альтернативными.

К модели данных предъявляются определенные требования, называемые нормальными формами сущностей, существует несколько нормальных форм. Первая нормальная форма требует, чтобы все атрибуты были атомарные, вторая – чтобы каждый неключевой атрибут зависел полностью от первичного ключа. Для приведения ко вто-

рой нормальной форме необходимо создать новую сущность, перенести в нее атрибуты, зависящие от части ключа, и сделать эту часть первичного ключа новой сущностью, установив затем идентифицирующую часть от новой сущности к старой.

Атрибут «руководитель отдела» зависит от наименования отдела, но не зависит от «номера служащего». Поэтому надо сделать еще одну сущность (рис. 2.19).

На логическом уровне можно устанавливать идентифицирующую связь типа «один ко многим», связь «многие ко многим» и неидентифицирующую связь «один ко многим».

Идентифицирующая связь устанавливается между независимой родительской и зависимой сущностями. Экземпляр зависимой сущности определяется только через отношение к родительской сущности. При установлении идентифицирующей связи атрибуты первичного ключа родительской сущности переносятся в состав первичного ключа дочерней сущности с пометкой (*FK*) – означает внешний ключ сущностей (см. рис. 2.19). При установлении неидентифицирующей связи дочерняя сущность остается независимой. Атрибуты первичного ключа родительской сущности передаются в состав неключевых атрибутов дочерней сущности.

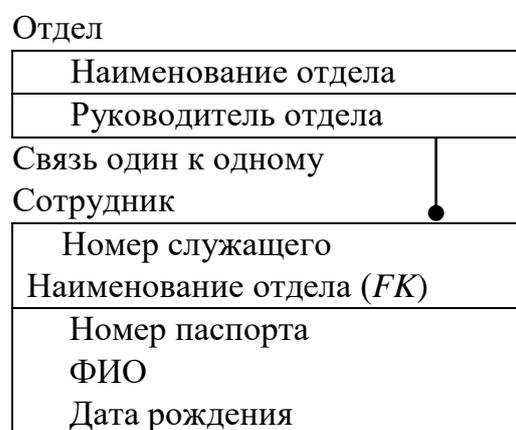


Рис. 2.19. Идентифицирующая связь между независимой родительской и зависимой сущностями

Связь типа «многие ко многим» возможна только на уровне логических моделей данных (рис. 2.20). При переходе к физическому уровню *Erwin* автоматически преобразует связь «многие ко многим», добавляя новую ассоциативную сущность и устанавливая две новые связи типа «один ко многим» от старой к новой сущности (рис. 2.21).

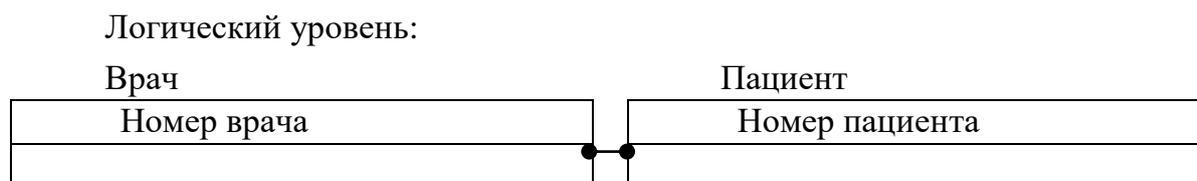


Рис. 2.20. Связь типа «многие ко многим»

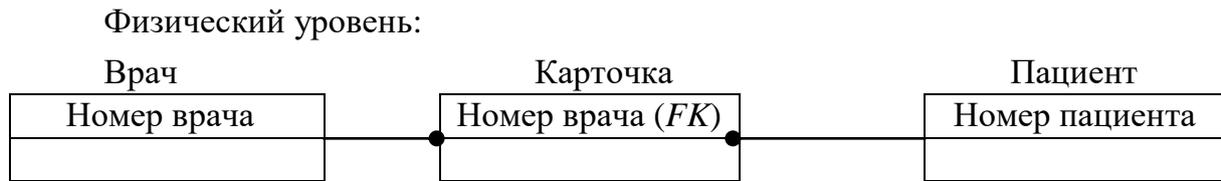


Рис. 2.21. Связь «многие ко многим» с добавлением новой ассоциативной сущности

Иерархия категорий представляет особый вид объединения сущностей, которые разделяют общие характеристики. Например, в организации работают служащие полный рабочий день, совместители и консультанты, из их общих свойств можно сформировать обобщенную сущность, чтобы представить информацию, общую для всех типов служащих, а специфическая информация может быть расположена в категориях сущности. Для каждой категории можно указать дискриминатор, т. е. атрибут родового предка, который показывает, как отличить одну категорию сущности от другой (рис. 2.22).

При создании реальных моделей данных количество сущностей и атрибутов может исчисляться сотнями. Для более удобной работы с большими моделями *Erwin* предусматривает предметные области, которые могут включать тематические общие сущности.

На рис. 2.23 приведено описание организации учебного процесса в университете (1-го года обучения) в виде модели *IDEF1X*.

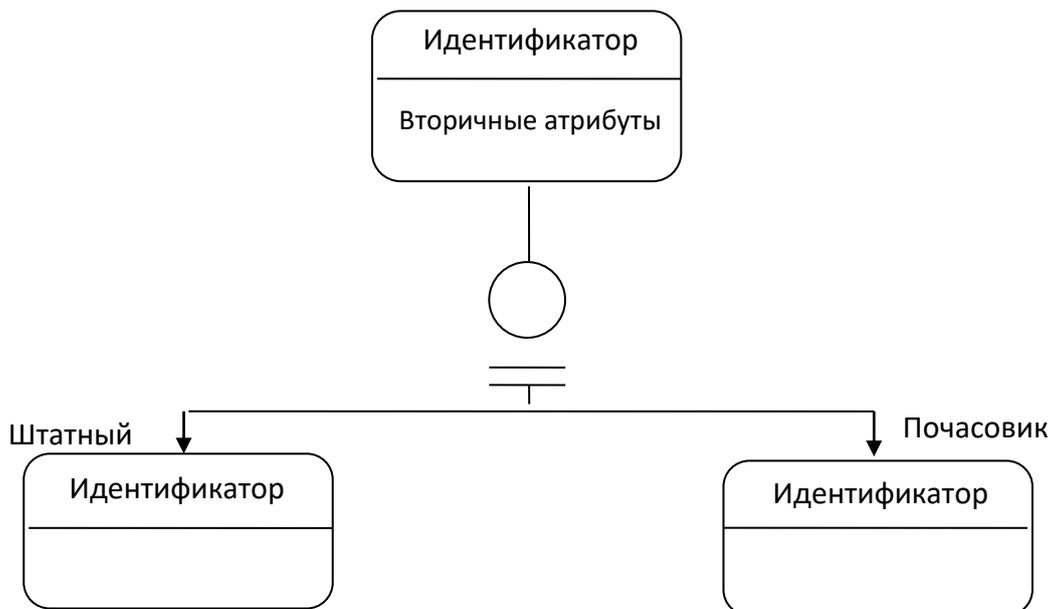


Рис. 2.22. Иерархия категорий – вид объединения сущностей

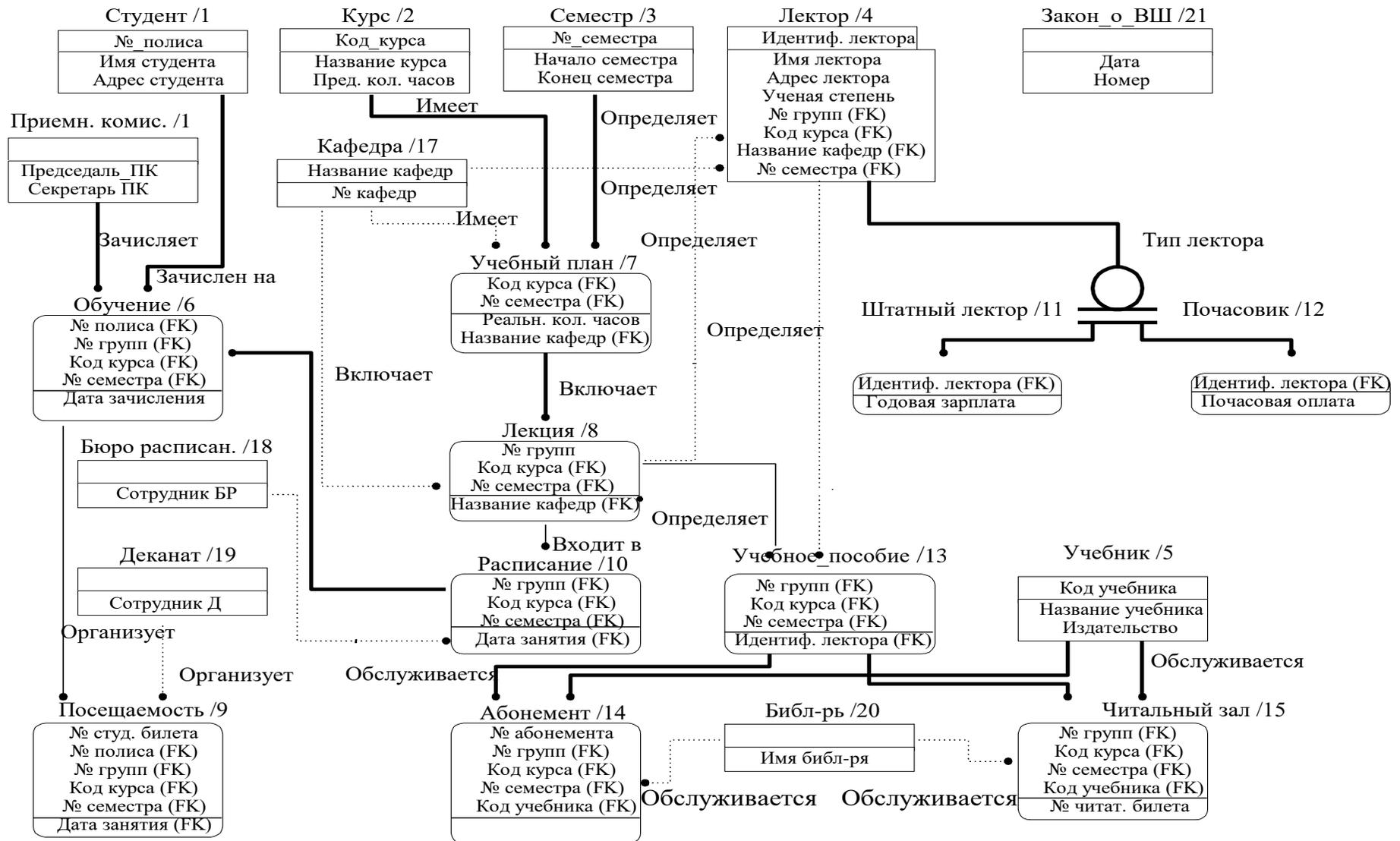


Рис. 2.23. Информационная модель организации учебного процесса

## 2.4. Описание динамического поведения систем с помощью сетей Петри

Динамическое поведение систем может описываться различными моделями:

- дифференциальными уравнениями описываются непрерывные детерминированные системы;
- теория автоматов используется для описания дискретно-детерминированных систем;
- теория массового обслуживания применяется для описания непрерывно-стохастических систем;
- для моделирования динамических вычислительных процессов могут использоваться сети Петри.

### 2.4.1. Построение динамической модели предметной области с использованием сетей Петри

Сети Петри позволяют строить модели сложных систем в виде соответствующих структур, образованных из элементов двух типов – событий и условий. В свою очередь, в сетях события и условия представлены в виде двух непересекающихся подмножеств, а именно множеством позиций и множеством переходов. Атрибутивная сеть является подклассом сетей Петри [10].

Формально атрибутивная сеть представляет собой набор

$$N = (P, T, F, W, M_0),$$

где  $P$  – множество элементов сети, называемых позициями;  $T$  – множество элементов сети, называемых переходами;  $F : P \cdot T \cup T \cdot P$  – отношение инцидентности;  $W : P \rightarrow N$  – функция кратности дуг;  $M_0 : P \rightarrow N$  – функция начальной разметки.

В графическом представлении сетей переходы представляются «барьерами», а позиции – кружками (рис. 2.24).

В соответствии с приведенным выражением  $P$  условия-позиции и события-переходы связаны отношением непосредственной зависимости (причинно-следственной связи), которое изображается с помощью направленных дуг, ведущих из позиций в переходы и из переходов в позиции.

При этом функция  $W$  сопоставляет каждой дуге число  $n > 0$  (кратность дуг). Позиции, из которых ведут дуги на данный переход,

называются входными. Позиции, на которые ведут дуги из данного перехода, называются выходными. Так, в сети на рис. 2.24 позиции  $p_1$  и  $p_2$  являются входными для перехода  $t_1$ , а места  $p_3$  и  $p_4$  – выходными. В этом же примере позиция  $p_2$  является входной одновременно для двух переходов  $t_1$  и  $t_2$ , а позиция  $p_6$  – входной одновременно для двух переходов –  $t_3$  и  $t_4$ .

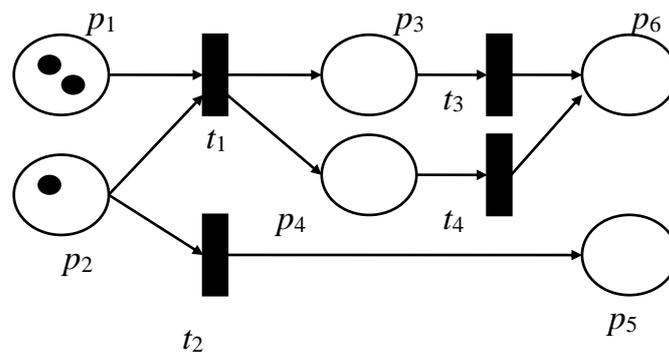


Рис. 2.24. Графическое представление сети Петри

Выполнение условия изображается разметкой соответствующей позиции, а именно помещением числа  $n$  или  $n$  фишек (маркеров) в эту позицию, где  $n > 0$ . Функция  $M$  сопоставляет каждой позиции  $p \in P$  некоторое число  $M_0(p) \in N$  (разметка позиции).

Динамика поведения моделируемой системы отражается в функционировании сети в виде совокупности локальных действий, которые называются срабатыванием переходов. Они соответствуют реализациям событий и приводят к изменению разметки позиций, т. е. к локальному изменению условий в системе.

Переход может сработать, если выполнены все условия реализации соответствующего события. Срабатывание перехода – неделимое действие, изменяющее разметку его входных и выходных позиций следующим образом: из каждой входной позиции изымается по одной фишке, а в каждую входную позицию добавляется по одной фишке. Тем самым реализация события, изображенного переходом, изменяет состояние (емкость) непосредственно связанных с ним условий так, что емкость предусловий, вызвавших реализацию этого события, уменьшается, емкость постусловий, на которые оно влияет, увеличивается. Переход  $t_1$  на рис. 2.24 может сработать, так как обе его входные позиции  $p_1$  и  $p_2$  содержат фишки, а после срабатывания  $t_1$  разметка его входных и выходных позиций изменяется так, как показано на рис. 2.25.

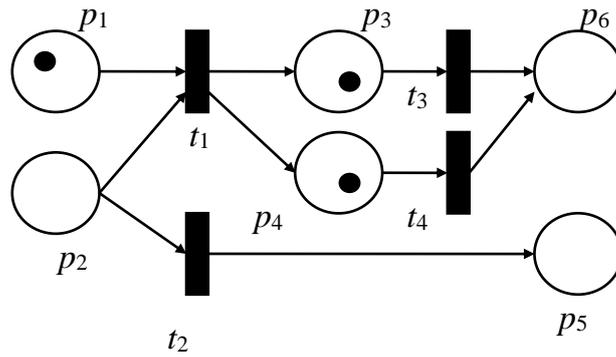


Рис. 2.25. Изменение маркировок после срабатывания перехода  $t_1$

Если два перехода (и более), например  $t_3$  и  $t_4$  на рис. 2.25, могут сработать и они не имеют общих входных позиций, то их срабатывания являются независимыми действиями, осуществляемыми в любой последовательности или параллельно. Таким образом, в сети моделируется параллелизм событий (рис. 2.26).

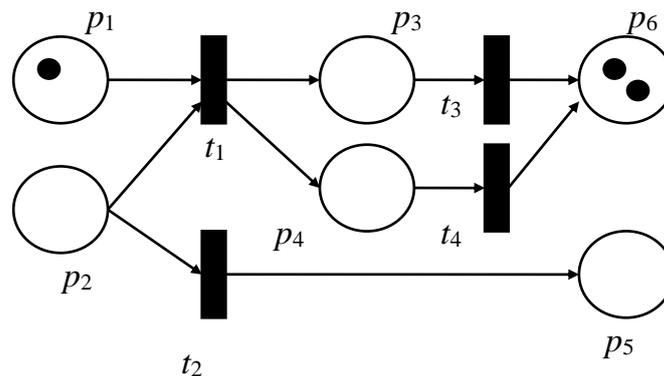


Рис. 2.26. Параллельное срабатывание переходов  $t_1, t_2$

Если несколько переходов могут сработать и имеют общую входную позицию (как переходы  $t_1$  и  $t_2$  на рис. 2.24), то срабатывает только один (любой) из них. При этом может оказаться, что, сработав, этот переход лишит возможности сработать другие переходы (рис. 2.27). Таким образом, в сети моделируется конфликт между событиями, когда реализация одного из них может исключить возможность реализации других. Аналогичный конфликт возникает в том случае, если несколько переходов могут сработать и они имеют общие выходные позиции  $t_3$  и  $t_4$ .

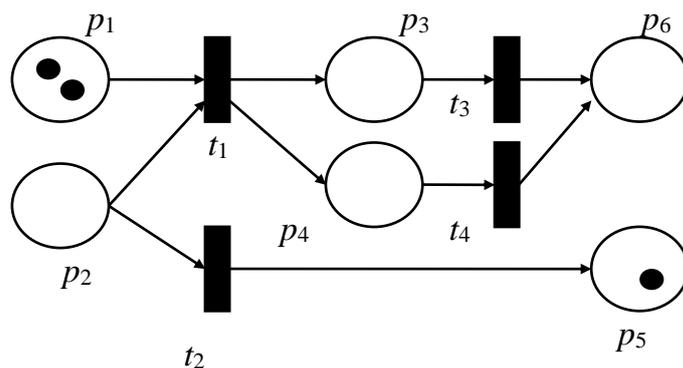


Рис. 2.27. Моделирование конфликтов между событиями

В процессе функционирования сети происходит смена разметок позиций как результат срабатывания ее переходов. Сеть останавливается, если ни один из ее переходов не может сработать.

Таким образом, атрибутивные сети формализуют понятие абстрактной асинхронной системы – динамической структуры из событий и условий. Для анализа сетей используются понятия определенных свойств сетей:

- ограниченности позиций сети и сети в целом;
- безопасности позиции сети и сети в целом;
- консервативности сети;
- живости и мертвости переходов;
- живости сети;
- устойчивости переходов и сети в целом.

При решении практических задач моделирования сетями дискретных систем производится анализ сетевых моделей систем, в частности пакетом *Design/IDEF* моделей *IDEF0/CPN*, на предмет обладания данными свойствами [11]. Результаты анализа позволяют судить о свойствах поведения моделируемой системы.

Таким образом, с формальной точки зрения *IDEF/CPN*-модель представляет собой атрибутивную или иерархическую раскрашенно-предикатную сеть.

## 2.4.2. Моделирование динамических вычислительных процессов

Как описывалось выше, сети Петри состоят из четырех элементов: множества позиций  $P$ , множества переходов  $T$ , множества входных функций  $I$ , множества выходных функций  $O$ .

Удобно отображать и анализировать сети Петри в виде графа с двумя типами элементов: вершин и дуг (рис. 2.28).

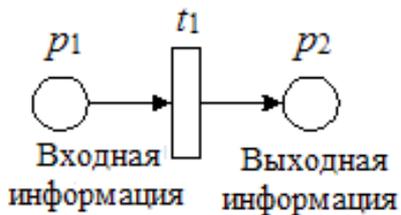


Рис. 2.28. Элементы сети графа

Вершины связаны дугами. Дуги, идущие от кружка к планке, отображают множество входных функций, а от планки к кружку – множество выходных функций.

Применительно к вычислительным процессам планки соответствуют вычислительным процессам, а кружки – данным, событиям, условиям.

Маркировка сети Петри представляет собой присваивание фишек позициям сети. Они обозначаются на графе точками внутри кружков. Количество фишек произвольно. Процесс перераспределения фишек в сети называется выполнением сети Петри. Фишки находятся в кружках и управляют запуском переходов в сети. Переход запускается удалением фишек из всех его входных позиций и образованием новых фишек, помещаемых во все выходные позиции.

Введем понятие вектора маркировки –  $m$ . В этом векторе число элементов равно числу позиций в сети. А значением элемента будет количество фишек в соответствующей позиции.

Одной из аналитических задач для процессов, описываемых с помощью сетей Петри, считается задача достижимости маркировки. В ней для исходного вектора маркировки требуется установить существующие последовательности переходов, после выполнения которых достигается заданный выходной вектор маркировки.

Применительно к вычислительной системе с помощью анализа достижимости маркировки устанавливается последовательность действий, позволяющая получить требуемые данные, условия или события.

**Пример.** Наиболее простой метод анализа достижимости маркировки следующий. Структура сети Петри описывается двумя матрицами  $D'$  и  $D''$ , в которых число строк равно числу переходов в сети, а число столбцов – числу позиций.

Матрица  $D'$  называется матрицей входов. Она содержит 1 на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца, если  $j$ -я позиция является входной для  $i$ -го перехода, в противном случае ставится 0

$$D' = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Матрица  $D''$  называется матрицей выходов. Она содержит 1 на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца, если  $j$ -я позиция является выходной для  $i$ -го перехода, в противном случае ставится 0

$$D'' = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}.$$

Вводится понятие вектора  $X$ , называемого вектором запуска переходов. Число элементов вектора равно числу переходов. Значение каждого элемента определяет количество запусков каждого перехода в процессе выполнения сети Петри.

Вектор запуска переходов определяется решением уравнения  $M_1 = M_0 + X(D'' - D')$ , где  $M_0 = (1, 2, 0, 0, 0, 0, 0)$  – вектор начальной маркировки;  $M_1 = (0, 0, 1, 0, 0, 1, 1)$  – вектор конечной маркировки.

Для рассматриваемого примера вектор запуска выглядит следующим образом:  $X = (1, 0, 1, 1)$ .

При решении практических задач моделирования сетями дискретных систем проводится анализ сетевых моделей систем. В частности, пакетом *Desig/IDEF* анализируется модель *IDEF0/CPN* на предмет обладания вышеназванными свойствами. Результаты анализа позволяют судить о свойствах поведения моделируемой системы.

Фрагмент динамической модели организации учебного процесса в университете (первый год обучения) приведен на рис. 2.29.

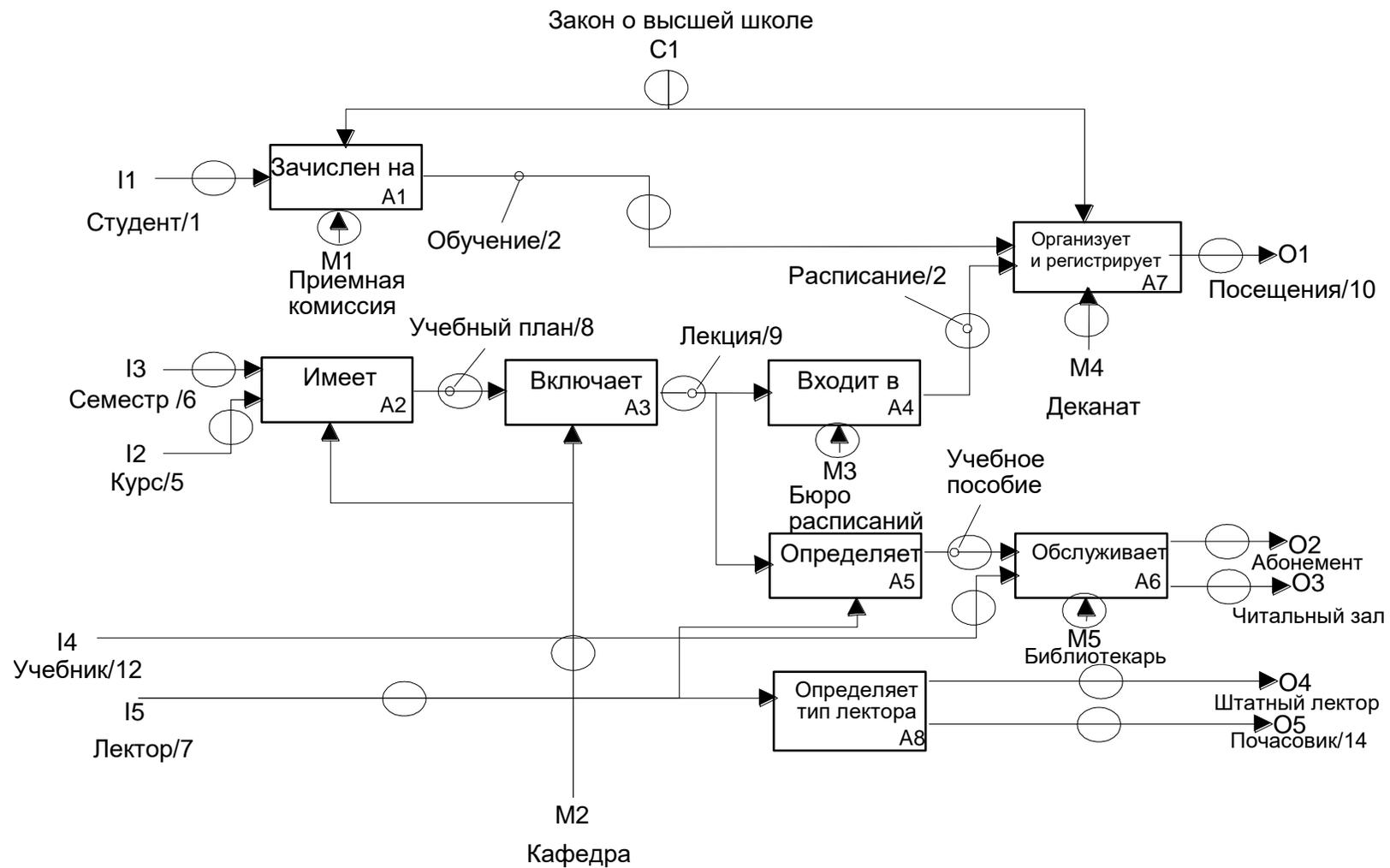


Рис. 2.29. Фрагмент динамической модели организация учебного процесса в университете

## Контрольные задания

1. Системный анализ в исследовании ИС управления. Основная особенность системного анализа.
2. Из каких этапов складывается системный анализ? Их содержание.
3. Описание ИС с использованием методологии *SADT*. Содержание этапов.
4. Методология разработки функциональной модели ИС *IDEF0*.
5. Какие методологии используются для установления информационных потребностей организации?
6. Содержание методологии анализа информационных потребностей организации, называемой критическим фактором успеха.
7. Описание документооборота и обработки информации в информационной системе.
8. Использование модели *DFD* для описания документооборота и обработки информации в организации.
9. Какие объекты включает в себя базовая нотация *DFD*?
10. Назначение мини-спецификации и словаря данных при построении диаграммы *DFD*.
11. Какими рекомендациями следует пользоваться для упрощения анализа и достижения понятности при построении *DFD* диаграммы?
12. Информационная модель, построенная с помощью *IDEF1X* методологии.
13. Информация, которая моделируется в виде стрелки на модели процессов *IDEF0*, может содержаться в нескольких сущностях или атрибутах сущностей. Рассмотрите варианты соответствия «процесс-сущность».
14. Создание модели данных с помощью программы *Erwin*.
15. Описание динамического поведения систем с помощью сетей Петри.
16. Задача достижимости маркировки, описываемая с помощью сетей Петри.

## 3. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

### 3.1. Системный подход в исследованиях информационных систем

#### *3.1.1. Понятие и основные черты системного подхода*

Изучение объектов и явлений как систем вызвало формирование новой научной методологии – системного подхода, используемого в различных областях науки и деятельности человека [2].

Гносеологической основой (гносеология – раздел философии, изучающий формы и методы научного познания) системного подхода является общая теория систем, начало которой положил австралийский биолог Л. Берталанфи. Предназначение этой науки он видел в поиске структурного сходства законов, установленных в различных дисциплинах, исходя из которых можно вывести общесистемные закономерности.

Рассмотрим основные черты системного подхода. Системный подход представляет собой одну из форм методологического знания, связанную с исследованием и созданием объектов как систем, и относится только к системам (первая черта системного подхода).

Второй чертой системного подхода можно назвать иерархичность познания, требующую многоуровневого изучения предмета: изучение самого предмета – «собственный» уровень; изучение этого же предмета как элемента более широкой системы – «вышестоящий» уровень и, наконец, изучение этого предмета в соотношении с составляющими данный предмет элементами – «нижестоящий» уровень.

Третьей чертой системного подхода является изучение интегративных свойств и закономерностей систем и комплексов систем, раскрытие базисных механизмов интеграции целого.

И, наконец, четвертой чертой системного подхода считается его нацеленность на получение количественных характеристик, создание методов, сужающих неоднозначность понятий, определений, оценок.

Другими словами, системный подход требует рассматривать проблему не изолированно, а в единстве связей с окружающей средой, постигать сущность каждой связи и отдельного элемента, проводить ассоциации между общими и частными целями. Все это формирует особый метод мышления, позволяющий гибко реагировать на изменения обстановки и принимать обоснованные решения.

С учетом сказанного определим понятие системного подхода.

*Системный подход* – это подход к исследованию объекта (проблемы, явления, процесса) как к системе, в которой выделены элементы, внутренние и внешние связи, наиболее существенным образом влияющие на исследуемые результаты его функционирования, а цели каждого из элементов определены исходя из общего предназначения объекта.

### **3.1.2. Сущность системного подхода**

На практике для реализации системного подхода необходимо предусмотреть выполнение следующей последовательности действий:

- а) формулировку задачи исследования;
- б) выявление объекта исследования как системы из окружающей среды;
- в) становление внутренней структуры системы и выявление внешних связей;
- г) определение (или постановка) целей перед элементами исходя из проявляющегося (или ожидаемого) результата всей системы в целом;
- д) разработку модели системы и проведение на ней исследований.

В настоящее время много работ посвящено системным исследованиям. Все они рассматривают решение системных задач, в которых объект исследований представляется в виде системы.

Системные задачи могут быть двух типов: системного анализа и системного синтеза (рис. 3.1). Взаимосвязь системных задач отражена на рис. 3.2. Задачи анализа – определение свойств системы по известной структуре, изучение свойств уже существующего образования. Задачи синтеза – определение структуры системы по ее свойствам, т. е. создание новой структуры, которая должна обладать желаемыми свойствами.

Системный анализ и синтез предполагают исследование больших систем, сложных задач. Н. Н. Моисеев отмечает: «Системный анализ... требует анализа сложной информации различной физической природы». Исходя из этого Ф. И. Перегудов определяет, что «системный анализ есть теория и практика улучшающего вмешательства в проблемные ситуации».

Рассмотрим особенности реализации системного подхода

Любое исследование предваряет его формулировка, из которой должно быть понятно, что нужно делать и на основании чего это делать.

В формулировке задачи исследования надо постараться различить общий и частный планы. Общий план определяет тип задачи, анализ или синтез. Частный план задачи отражает функциональное предназначение системы и описывает характеристики, подлежащие исследованию.



Рис. 3.1. Виды системных задач и их содержание

Например:

– разработать (общий план – задача синтеза) информационную систему, предназначенную для управления качеством вырабатываемой продукции (частный план);

– определить (общий план – задача анализа) оперативность контроля качества вырабатываемой продукции (частный план).

Конкретность формулировки задачи во многом зависит от знаний исследователя и имеющейся информации.

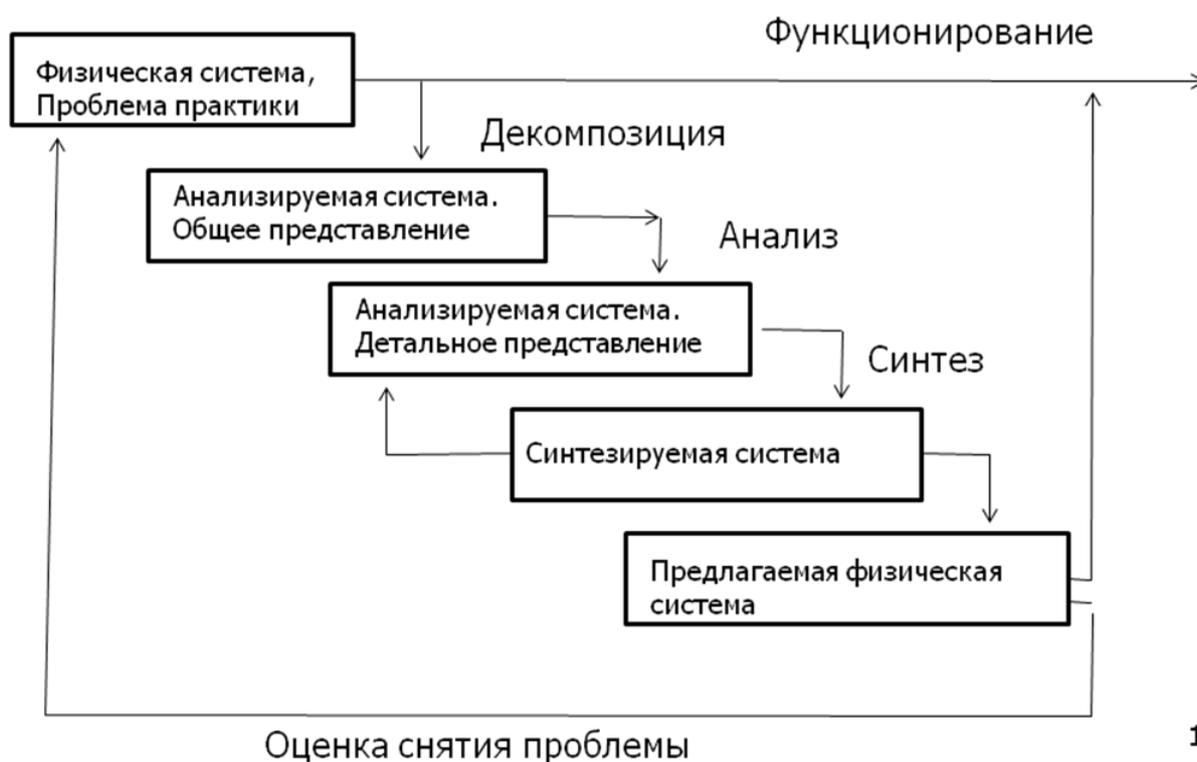


Рис. 3.2. Системные задачи и их взаимосвязи

Меняется представление о системе, это приводит к тому, что почти всегда имеются различия между поставленной и решаемой задачами. Чтобы они были несущественными, формулировка задачи должна корректироваться в процессе ее решения. Изменения в основном будут касаться частного плана сформулированной задачи.

Особенностью выделения объекта как системы из окружающей среды является то, что необходимо выбрать такие его элементы, деятельность или свойства которых проявляются в области исследования данного объекта. Например, пусть задачей исследования будет определение возможности управления качеством изделия в процессе его

производства. В таблице приведен порядок выделения исследуемой задачи (объекта) из внешней среды, в который входят выделяемые элементы, внешние системы и исходные данные.

#### Порядок выделения исследуемой задачи (объекта) из внешней среды

Задача	Элементы системы	Внешние системы	Исходные данные
Определение возможности управления качеством изделия в процессе его производства	1. Подсистема контроля качества 2. Подсистема управления технологическим процессом 3. Подсистема организационного управления	1. Потребители продукции 2. Поставщики сырья и комплектующих 3. Поставщики энергии 4. Окружающая среда (температура, влажность, давление)	1. Технические требования к продукции 2. Требования ГОСТ к продукции 3. Технологический процесс производства продукции 4. Технологическое оборудование и инструмент 5. Объем производства

Между элементами управления качеством изделия устанавливаются связи, т. е. образуется структура системы. Необходимость выявления (либо создания) той или иной связи определяется степенью ее влияния на исследуемые характеристики: должны оставаться те, которые оказывают существенное влияние. В тех случаях, когда связи неясны, необходимо укрупнить структуру системы до известных уровней и проводить исследования в целях последующего углубления детализации до необходимого уровня. Не должны вводиться в структуру системы элементы, не имеющие связей с другими.

Из сказанного следует вывод: установление внутренней структуры не является операцией только начального этапа исследования, она будет уточняться и изменяться по мере проведения исследований.

Этот процесс отличает сложные системы от простых, в которых элементы и связи между ними не изменяются в течение всего цикла исследования.

В любой системе каждый элемент ее структуры функционирует исходя из некоторой своей цели. При ее выявлении (или постановке) следует руководствоваться требованием подчиненности общей цели

системы. Здесь следует отметить, что частные цели элементов не всегда согласуются с конечными целями самой системы.

Сложные системы, как правило, исследуются на моделях. Цель моделирования – определение реакций системы на воздействия, границы функционирования системы, эффективность алгоритмов управления. Модель должна допускать возможность вариаций изменения количества элементов и связей между ними с целью исследования различных вариантов построения системы. Процесс исследования сложных систем носит итеративный характер, и число возможных приближений зависит от априорных знаний о системе и жесткости требований к точности получаемых результатов.

На основе проведенных исследований вырабатываются рекомендации:

- о характере взаимодействия между системой и окружающей средой;
- структуре системы, видах организации и типах связей между элементами;
- законе управления системой.

Главная задача системного подхода в исследовании информационных систем управления состоит в том, чтобы, обнаружив и описав сложность, обосновать также дополнительные физически реализуемые связи, которые будучи наложенными на сложную систему управления сделали бы ее управляемой в требуемых пределах, сохранив при этом такие области самостоятельности, которые способствуют повышению эффективности системы.

Включенные новые обратные связи должны усилить благоприятные и ослабить неблагоприятные тенденции поведения системы управления, сохранив и укрепив ее целенаправленность, но при этом ориентируя ее на интересы надсистемы.

### **3.2. Основные подходы к построению математических моделей систем**

В современных исследованиях широко используются методы моделирования [15]. Суть их заключается в том, что реальные объекты исследования, особенно если они недоступны или если нельзя вмешиваться в их функционирование, заменяются соответствующими

моделями, пользуясь которыми можно провести эксперимент, изучить их поведение при изменениях параметров внешней и внутренней среды.

Модель – это копия реального объекта, обладающая его основными характеристиками и способная имитировать его поведение.

Особенность модели в том, что она находится всегда в определенном отношении с реальным объектом. Это значит, что она до определенных пределов может замещать изучаемый объект. Пределы эти должны быть известны и учитываться в оперировании моделями. Модель – это всегда упрощенное отражение объекта. Очень часто необходимо намеренное упрощение действительности модели, чтобы выделить главное, «отсечь» его от второстепенного, случайного, переходящего. Можно использовать целую совокупность моделей одного и того же объекта, каждая из которых отличается степенью сложности и составом учитываемых характеристик.

Модель должна соответствовать некоторым требованиям:

1. Достаточно полно отражать особенности и сущность исследуемого объекта, чтобы можно было замещать его при исследовании.
2. Представлять объект в упрощенном виде, но с допустимой степенью простоты для данного вида и цели исследования.
3. Давать возможность перехода от модельной информации к реальной. Это должно быть учтено в правилах построения модели.

В исследовании управления часто используются компьютерные модели [15]. Они могут быть представлены в виде структуры системы управления, технологической схемы процесса управления, комплекса характеристик управления, факторов, влияющих на эффективность управления, структуры информации, взаимодействия функций управления и пр.

Использование подобных моделей может быть весьма эффективным в проведении исследования систем управления, однако следует иметь в виду, что методы исследования только в совокупности и комплексе дают ощутимый эффект и действительный результат. Моделирование наиболее эффективно тогда, когда исследователь имеет дело с хорошо структурированными проблемами, когда достаточно информации для оценки ситуаций и проблем и отработана методология работы с моделями.

Наиболее известными трудностями использования моделей в исследовании систем управления можно назвать следующие: очень высокая стоимость, недостоверная исходная информация об объекте, чрезмерное упрощение характеристик, ошибки в методологии моделирования.

### *3.2.1. Моделирование*

Метод моделирования разработан с учетом принципа изоморфизма (многообразия): замены одного объекта на адекватную модель [1]. Соотношение объекта и модели определяется степенью ее адекватного описания научными или иными средствами (вербально, графически, математически и т. п.).

Моделирование – основополагающий метод исследования больших и сложных систем в теории систем, к числу которых относятся информационные системы. В теории систем утверждается, что никаких других средств для качественного и эффективного описания больших и сложных систем, кроме моделирования, не существует. В современной науке укоренилось представление, что «всякое познание является моделированием» (Н. Амосов).

Каждая теория – это тоже модель понимания содержания предмета исследования. Модели могут создаваться на основе средств познания (формы мышления) – эвристические, гипотетические, концептуальные – и на основе рационально-логических средств исследования – эмпирические, теоретические, математические. Разница между разными видами моделирования в том, что не всегда разработанную модель можно адекватно описать математическими средствами для получения количественных и качественных результатов. Например, социально-экономическую модель нельзя адекватно представить в математическом виде. Она слишком сложна. Применение математических средств возможно лишь тогда, когда определены средства оценки, измерения всех существенных параметров системы. Для создания наиболее похожей модели сложной системы необходимы средства содержательного эмпирического представления, которые предшествуют использованию формализованных средств математики.

Любая модель строится на основе некоторых теоретических принципов и реализуется определенными инструментальными средствами прикладных наук. Теоретическими принципами построения

моделей больших и сложных динамических систем становятся принципы теории систем. Основу инструментальных средств построения этих моделей составляют математические методы описания алгоритмических процессов. Такой подход в моделировании обеспечивает определенную строгость и логичность доказательств, которые могут избежать многих противоречий в понятиях на междисциплинарном уровне.

В теории систем широко используются специальные методы моделирования, которые применяются в прикладной информатике. К ним относятся:

- имитационное динамическое моделирование, использующее методы статистики и специальный язык программирования взаимодействия структурных элементов;

- ситуативное моделирование, использующее методы теории множеств, теории алгоритмов, математической логики (булевой алгебры) и специальный язык анализа проблемных ситуаций;

- информационное моделирование, использующее математические методы теории информационного поля и теории информационных цепей.

Основные методы моделирования в теории систем отличаются от классических методов теории моделирования тем, что процесс моделирования связан с сочетанием процедур анализа и синтеза.

Это объясняется необходимостью учета в исследовании объекта-системы принципов симметрии и гармонии как фундаментальных закономерностей при композиции элементов в целом образовании, будь-то космические системы, системы живой или неживой природы и общества.

Принцип симметрии – это фундаментальное свойство всех материальных систем, связанное с законом сохранения энергии, информации и вещества в целом образовании.

Принцип гармонии – это фундаментальное свойство сохранения устойчивых связей и отношений между элементами в целом образовании.

В теории систем различают методы индукционного и редуционного моделирования. Индукционное моделирование осуществляется с целью получения сведений о специфике объекта-системы, ее элементах, способах их взаимодействия на основе анализа частного и

приведения этих сведений к общему описанию. Индуктивный метод моделирования больших и сложных систем используется в том случае, когда невозможно адекватно представить модель внутренней структуры объекта. Этот метод позволяет создать обобщенную модель объекта-системы, сохраняя специфику организационных свойств, связей и отношений между элементами, что отличает ее от другой системы. При построении такой модели часто используют методы логики теории вероятности, т. е. такая модель становится логической или гипотетической. Затем определяются обобщенные параметры структурно-функциональной организации системы и описываются их закономерности с помощью методов аналитической и математической логики.

Редукционное моделирование используется с целью получения сведений о закономерностях взаимодействия элементов в системе для сохранения целого структурного образования. При этом считается, что свойства целого образования нам известны на основе законов теории систем, а сами элементы не являются объектами исследования. При таком методе исследования сами элементы заменяются описанием их внешних свойств. Использование метода редукционного моделирования позволяет решить задачи по определению свойств элементов, свойств их взаимодействия и свойств самой структуры системы, чтобы их совокупность отвечала наилучшим образом принципам целого образования с заданными свойствами. Такой метод применяется для поиска методов декомпозиции элементов и изменения структуры, придавая системе в целом новые качества, он отвечает целям синтеза свойств системы на основе исследования внутреннего потенциала к изменению. Часто метод редукционного моделирования называют методом «генеалогического» моделирования. Практическим результатом использования метода синтеза в редукционном моделировании становится математический алгоритм описания процессов взаимодействия элементов в целом образовании.

### ***3.2.2. Принципы построения моделей***

К настоящему времени накоплен значительный опыт, позволяющий сформулировать принципы и подходы к построению моделей. Принципы определяют общие требования, которым должна удовлетворять правильно построенная модель.

*Адекватность.* Этот принцип предусматривает соответствие модели целям исследования по сложности и организации, а также соответствие реальной системе относительно выбранного множества свойств.

*Соответствие модели решаемой задаче.* Модель строится для решения определенного класса задач или конкретной задачи исследования системы. Попытки создания универсальной модели приводят к ее усложнению, делают такую модель практически непригодной. Для решения каждой конкретной задачи нужно иметь свою модель, определяющую наиболее важные в данной задаче аспекты системы. Этот принцип связан с принципом адекватности.

*Упрощение при сохранении существенных свойств системы.* Модель должна быть в некотором отношении проще прототипа – в этом смысл моделирования. Этот принцип называется принципом абстрагирования от второстепенных деталей. Должно выполняться свойство гомоморфизма между моделью и объектом моделирования.

*Соответствие между требуемой точностью результатов моделирования и сложностью модели.* Стремление достичь высокой точности связано с необходимостью детализации модели и ростом ее сложности. Соответствие между точностью и сложностью модели достигается путем проб и ошибок.

*Баланс погрешностей различных видов.* Необходимо добиваться баланса систематической погрешности моделирования, возникающей за счет отклонения модели от оригинала, погрешности исходных данных, точности отдельных элементов модели и т. д. При осреднении и интерпретации результатов моделирования необходимо учитывать систематические и случайные погрешности. Систематические погрешности можно скомпенсировать путем корректировки результатов моделирования, а случайные уменьшить за счет увеличения числа испытаний и количества усредняемых анализируемых данных.

*Многовариантность реализации элементов модели.* Разнообразие реализаций одного и того же элемента, отличающихся по точности (и сложности), обеспечивает регулирование соотношения «точность – сложность».

*Блочное строение.* Соблюдение принципа блочного строения облегчает разработку сложных моделей. Например, при построении модели системы управления можно выделить блоки генерирования

случайных воздействий, собственно блок объекта управления, блоки адаптации коэффициентов модели объекта управления, обработки результатов моделирования, управления процессом моделирования и др.

Для каждой предметной области существует некий «коридор», в рамках которого допустим выбор тех или иных средств формализации. Выбор того или иного варианта может определяться исключительно субъективными предпочтениями исследователя. В зависимости от конкретных ситуаций возможны следующие подходы к построению моделей:

1. Непосредственный анализ функционирования системы. Сбор данных с реального объекта и статистическая обработка накопленных данных позволяют выявить существенные параметры системы и взаимосвязи между параметрами. Примерами являются модели производства листового и автомобильного стекол [7, 13].

2. Проведение ограниченного эксперимента на самой системе. Эксперимент позволяет выявить значительную часть существенных параметров и их влияние на эффективность системы. Для постановки эксперимента пользуются теорией планирования экспериментов.

3. Использование аналогов, или «*прием метафоры*», заключающийся в поиске сходства с ранее изученными феноменами и уподоблении им наблюдаемых. При этом формулируется гипотеза о подобии наблюдаемых процессов тем процессам и явлениям (а также переносимости закономерностей и законов, свойственных им), которые были избраны на этапе выбора метафоры.

4. Анализ исходных данных. К построению модели приступают на основе анализа исходных данных, которые известны или могут быть получены. Анализ позволяет сформулировать гипотезу о структуре системы, которая затем апробируется.

Разработчик модели находится под действием двух противоположных тенденций: стремления к полноте описания и стремления к получению требуемых результатов возможно более простыми средствами. Достижение компромисса ведется обычно путем построения серии моделей, начинающихся с простых и восходящих до высокой сложности.

Сложные системы требуют разработки целой иерархии моделей, различающихся уровнем отображаемых операций. Например, в модели управления техническими системами выделяют всю систему, подсистемы, объекты управления.

Процесс построения математических моделей состоит из ряда этапов (рис. 3.3).

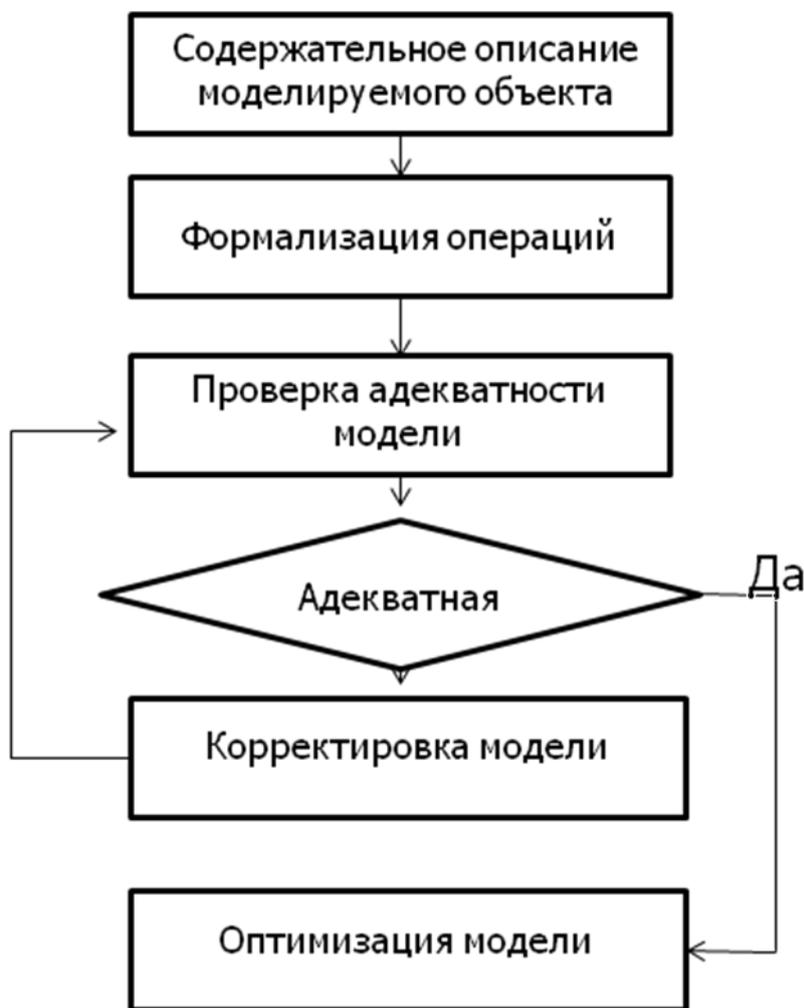


Рис. 3.3. Этапы построения математических моделей

Содержательное описание моделируемого объекта (системы) проводится с позиции системного подхода. Исходя из целей исследования устанавливаются совокупность элементов, взаимосвязи между ними, возможные состояния элементов, существенные характеристики состояний и соотношения между ними. Вопросы о полноте и единственности набора характеристик не рассматриваются. Такое предварительное приближенное представление системы называется концептуальной моделью. Для разработки модели требуется обстоятельное изучение моделируемого объекта. На данном этапе применяются качественные методы описания систем, знаковые, языковые и когнитивные модели.

На этапе формализации операций на основе содержательного описания определяется исходное множество характеристик системы. Для выделения существенных характеристик проводят приближенный анализ каждой из них, опираясь на постановку задачи и понимание природы исследуемой системы. Выделяют управляемые и неуправляемые параметры и проводят их символизацию. Затем определяется система ограничений на значения управляемых параметров. Далее формируют целевую функцию модели. Процесс замены содержательного описания формальным описанием носит итеративный характер.

Проверка адекватности модели. Требование адекватности модели находится в противоречии с требованиями простоты модели, что необходимо учитывать при проверке на адекватность. Исходный вариант модели проверяется по следующим аспектам:

- все ли существенные параметры включены в модель;
- нет ли в модели несущественных параметров;
- правильно ли отражены функциональные связи между параметрами;
- правильно ли определены ограничения на значения параметров.

Для проверки моделей рекомендуется привлекать читателей. Они могут более объективно рассматривать модель.

Затем проводят исследование модели на соответствие результатов моделирования свойствам исследуемого объекта. Для установления соответствия пользуются следующими приемами:

- сравнение результатов моделирования с экспериментальными результатами, полученными при одинаковых условиях;
- использование других близких моделей;
- сопоставление структуры и функционирования модели с прототипом.

По результатам проверки модели на адекватность принимается решение о возможности практического использования или проведении корректировки.

Корректировка модели. При корректировке уточняются параметры, ограничения на управляющие параметры, показатели исхода операции, связи показателей исхода операции с параметрами, критерий эффективности. После внесения изменений повторно проверяется адекватность модели.

Оптимизация модели состоит в упрощении модели при заданном уровне адекватности. Показателями при оптимизации могут быть время и затраты средств на проведение исследований. В основе оптимизации лежит возможность преобразования моделей из одной формы в другую с использованием математических методов описания моделей (компонентный, факторный анализы, использование нейронных сетей и нечетких множеств и др.) либо эвристических приемов.

### **3.3. Типы математических моделей информационных систем и процессов**

В курсе мы рассматриваем системный анализ в качестве инструмента исследования ИС, а вернее, комплект инструментов научных исследований и решение задач создания и внедрения информационных технологий (ИТ) в управленческую деятельность. Ознакомимся с описанием инструментов, которые можно разделить на две группы: неформальные и формальные методы [16].

Каждая из этих групп может быть подвергнута дальнейшему дроблению, однако на этом этапе мы не будем углубляться в дебри классификации, а остановимся на ее верхнем уровне.

Неформальные методы системного анализа преимущественно концентрируются на решении задач организации аналитической деятельности. Здесь используются методики, широко привлекающие знания, накопленные в отрасли гуманитарных наук. По мере развития средств вычислительной техники эта отрасль системного анализа получила в свое распоряжение мощные средства хранения и представления знаний, работающие в том числе и в псевдотрехмерном режиме отображения, средства телекоммуникационного обеспечения аналитической деятельности и иные инструменты, способствующие интенсификации интеллектуального труда.

К числу неформальных относят методы:

- мозгового штурма;
- моделирования рабочих сессий и игротехники;
- экспертного анализа;
- метод Дельфи;

- сценариев;
- классификации и структуризации проблемной области;
- компактного представления данных (диаграммы и т. д.);
- календарного планирования и иные.

Формальные методы системного анализа противоположны неформальным; оперируя строгой математической символикой, они мало похожи на неформальные методы. Абстрактные математические построения служат выражением сущности процессов, обеспечивая прогнозируемую точность и высокую объективность результатов исследования. Однако переход от неформальных методов к формальным выступает результатом эволюции знаний о системе.

Формальные методы также именуются методами формализованного представления систем и включают в себя методы:

- аналитические;
- вероятностные и статистические;
- теоретико-множественные и логические;
- лингвистические и семиотические;
- графические и иные методы.

Системный анализ сочетает в себе использование неформальных и формальных методов анализа и синтеза. Это сочетание достигается использованием таких системных теорий, как неформальный системный анализ и прогностика (ориентированные на применение процедур эвристического характера, основывающихся на личном и социальном опыте аналитика), теория выбора и принятия решений (основывающаяся на теории предпочтений или полезности), теория сложных систем и многомодельных исследований, синергетика и теория иерархических систем, теория больших систем (основывающаяся на формальных процедурах агрегирования и декомпозиции).

Исследование альтернативных стратегий, как правило, проводится на моделях (увы, не всегда это возможно, да и не всякий руководитель в состоянии оценить преимущества моделирования перед непосредственным действием). Как правило, для решения задач многокритериального оценивания требуется использовать несколько разнородных моделей, отражающих различные аспекты поведения системы и ее элементов.

### 3.3.1. Моделирование

На этапе моделирования модель выступает как инструмент исследования, т. е. модели предполагаются адекватными. Они используются в качестве систем, замещающих заданные фрагменты реальности – на них проводятся вычислительные и логические операции, выражающие выявленные на предшествующих этапах отношения и зависимости, определяются значения критериев выбора, обеспечивающие возможность сопоставления альтернативных стратегий. Речь идет о вариации исходных параметров и логики, отображающей стратегию управления. В результате чего формируется блок исходных данных, включающих значения и оценки критериев выбора, рисков и других данных, используемых на заключительном этапе.

Можно говорить о существовании некоего обобщенного алгоритма проведения системно-кибернетического исследования, относительно которого могут допускаться незначительные отклонения, но в целом сохраняющем свою структуру для большинства приложений системного анализа. Алгоритм, приблизительно отображающий схему проведения системно-кибернетического исследования, представлен на рис. 3.4.

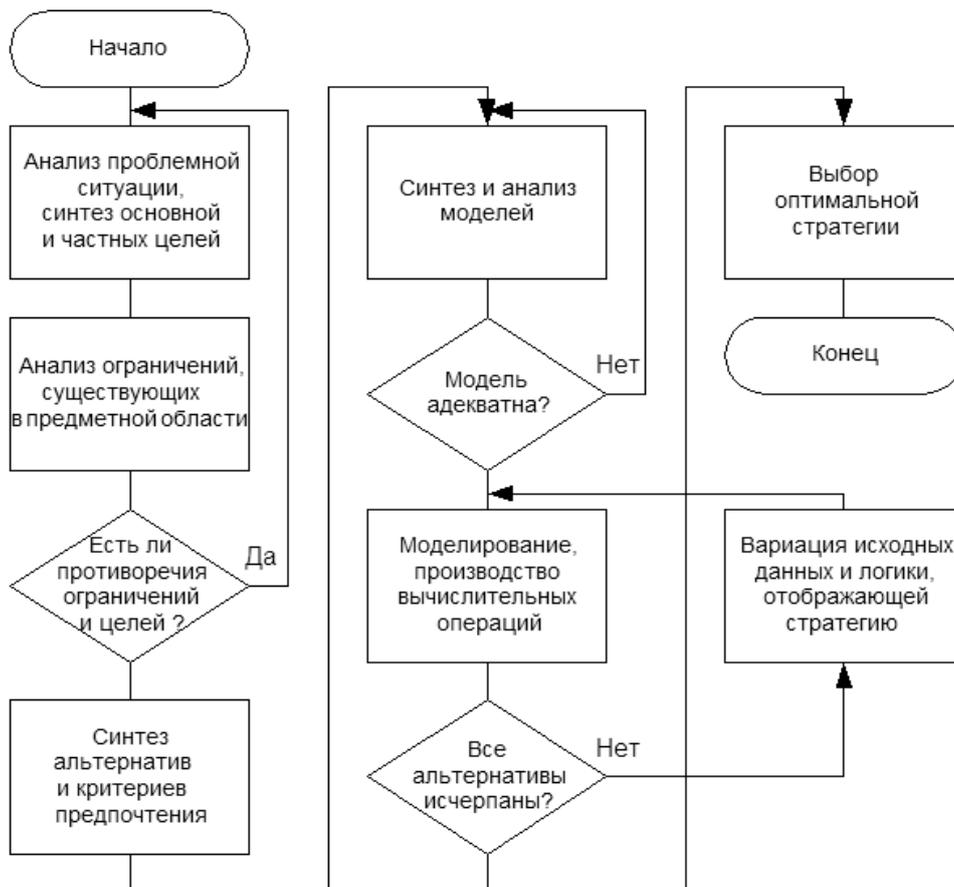


Рис. 3.4. Алгоритм проведения системно-кибернетического исследования

Итак, вновь обращаемся к понятиям модели и формальной системы. Можно рассматривать различные аспекты подобия между моделью и фрагментами реального мира:

- физическое подобие, когда модель и объект имеют близкую физическую сущность;
- функциональное подобие, когда сходны их функции;
- динамическое подобие, проявляющееся в сходстве динамики изменения состояния объекта;
- топологическое подобие, проявляющееся в сходстве пространственной (в широком смысле, в том числе организационной) структуры и иные.

Степень формализации моделей может варьироваться в широких пределах: от моделей, не подвергнутых процедурам формализации, до моделей строго формальных. Выбор формальных средств, используемых для представления моделей, не является произвольным и определяется двумя аспектами – компонентами модели:

- моделью интерпретации, или интерфейсным компонентом, характеризующим процесс двунаправленного взаимодействия с потребителем, в роли которого может выступать как человек, так и автоматизированная система, реализующая функции ввода и считывания данных;
- сущностным компонентом, характеризующим специфику моделируемого фрагмента реальности, закономерности его функционирования, структуры и т. п.

Если взглянуть на любую модель с точки зрения, характерной для специалиста в области разработки программного обеспечения, знакомого с объектным подходом к программированию, то модель предстанет в виде совокупности инкапсулированных (помещенных одна в другую) моделей. При этом модель интерпретации (адаптации, интерфейса) представляет собой внешнюю оболочку модели, а сущностная модель фрагмента реальности (объекта, процесса, явления и т. п.) заключена внутрь. Часто модель интерпретации именуют метамоделью, или применительно к информационным технологиям метаданными (например, метаданными баз данных).

В отличие от простых одноуровневых моделей сложные имеют несколько уровней вложенности, и на каждом уровне может существовать несколько разнородных моделей.

Перечислим наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на выбор адекватной степени детализации модели:

- назначение модели и цель исследования (аналитическая, прогностическая исследовательская (научная), кибернетическая (управленческая) модели);
- избирательность исследования (выражению средствами модели подлежат система или процесс в целом или их отдельные аспекты);
- степень полноты знаний о системе или процессах, подлежащих моделированию;
- динамические характеристики моделируемой системы/процесса;
- структура моделируемой системы;
- условия наблюдаемости (непрерывное, кусочно-непрерывное, дискретное);
- характеристика среды и параметры возмущающих воздействий;
- время, доступное для синтеза модели/производства вычислений;
- динамические и точностные характеристики системы сбора информации (точность результатов не может быть выше точности измерений);
- динамические и точностные характеристики системы управления (чаще всего нет смысла анализировать динамические и статические параметры системы или процесса, если отсутствуют средства управления, обеспечивающие необходимые скорость и точность доведения управляющих воздействий);
- точностные характеристики методов, используемых для обработки данных;
- характеристики платформы, используемой для реализации модели (в случае применения специальных технологических средств, например ЭВМ);
- точностные характеристики реализации методов с учетом ограничений технологической платформы, используемой для их реализации, и иные.

Приведенный перечень, несмотря на его громоздкость, нельзя назвать исчерпывающим, однако уже и его достаточно для понимания того, что модель должна удовлетворять целому ряду требований, а

процесс моделирования не является процессом сугубо абстрактным, отвлеченным. По существу на этапе синтеза модели решаются те же задачи системного исследования, но применительно к задаче построения модели, обеспечивающей решение задач следующего уровня. Так же, как и в иных случаях проводится анализ объективных и субъективных ограничений, определяются оптимальные значения параметров, но не системы, а ее модели.

Процесс синтеза модели может быть представлен как процесс постепенного повышения уровня формализации и поэтапного продвижения в иерархии знаний следующего вида:

- гипотеза, предположение;
- теория, концепция;
- закономерность;
- закон.

Отсутствие достаточного объема знаний о системе не позволяет построить модель более высокой степени формализации, нежели вербальная или логико-лингвистическая модель типа сценария. Такая ситуация возникает, когда причинно-следственные отношения не выявлены, структура системы и отношения между компонентами установлены лишь частично и подлежат уточнению, что соответствует знаниям уровня гипотезы или теории в предложенной иерархии.

Однако на практике чаще встречается ситуация, когда некоторая формальная система позволяет адекватно описывать феномены различного происхождения. Так обстоит дело со многими математическими формальными системами, полученными в результате развития естественнонаучных дисциплин (таковы дифференциальное, интегральное исчисление, теория множеств и иные).

Рассмотрим основные приемы и методы формализации предметной области исследований, а также вопросы поэтапного синтеза моделей информационных систем и процессов.

### ***3.3.2. Вербальные, или понятийные модели***

С этапа синтеза вербальной модели начинается процесс поэтапной формализации системы и вербальная же (в большинстве случаев) модель формируется на заключительном этапе функционирования модели. Это вызвано тем, что формализм вербальной модели легко воспринимается широким классом потребителей, а синтез вербальной

модели (по крайней мере, в первом приближении) может быть осуществлен и специалистом, не обладающим специальными навыками в области построения формальных моделей. Вербальные модели обладают наивысшей выразительной способностью и часто используются как инструмент интеграции формальных моделей и результатов их применения.

Вербальные модели создаются:

1) для получения на материальном носителе вербального описания:

- структуры системы;
- отношений между элементами;
- функций системы и ее компонентов;
- динамических параметров системы;
- проблемной ситуации;
- совокупности целей и задач деятельности;
- разнообразных ограничений (в том числе по ресурсам);
- характеристик среды функционирования и возмущающих воздействий;

2) формирования массива исходных данных, используемых на этапе структурирования и формализации знаний о системе;

3) выявления специфики тезауруса, применяемого в данной предметной области (для внешнего эксперта), и упорядочения системы понятий, подлежащих выражению формальными средствами;

4) выявления неполноты системы знаний и организации процесса их пополнения как за счет внутренних ресурсов системы, так и с привлечением внешних информационных ресурсов;

5) установления характера неопределенностей, с которыми придется столкнуться на этапе синтеза формальной модели;

6) поиска базовых закономерностей и аналогий в смежных отраслях, которые могут быть использованы в дальнейшем.

Вербальная модель – это не обязательно исключительно текстовый документ, она может содержать в том числе и количественные характеристики, элементы структуризации (например, таблицы, схемы и графики).

Важным этапом вербального моделирования признан этап приведения (стандартизации) терминологии и сокращения избыточности описаний. Результатом выполнения этой процедуры будет вербальная

модель, построенная в едином стандартизованном тезаурусе, дальнейшее использование которой упрощает решение задач автоматизации процессов анализа и перевода модели на следующий уровень формального представления.

Так, при решении задачи синтеза баз данных и систем информационного обеспечения деловых процессов данных, полученных на этом этапе, зачастую оказывается достаточно для синтеза макета информационной системы.

При создании новых ИС (на стадии разработки вариантов концепции системы) создается вербальная модель архитектуры предприятия и информационной системы [4]. Использование понятия «архитектура предприятия» позволяет устанавливать связь между бизнесом предприятия и параметрами ИС – функциями системы и интероперабельностью данных (возможность использования данных приложениями). Главное требование в том, чтобы любая информация, создаваемая в ИС, была независима от программного обеспечения разработки. Основное внимание должно быть сосредоточено на использовании *Internet* и *Web*-стандартов, языка *XML*, порталов, *Web*-сервисов, а также услуг провайдеров приложений.

Архитектура предприятия является компонентом стратегического планирования, гарантирующим на стратегическом уровне согласованность развития ИТ и стратегического развития предприятия. Она содействует совместному использованию информации между разными предприятиями, а также в государственных учреждениях, обеспечивая межведомственное взаимодействие.

Архитектура предприятия обычно имеет следующие слои (рис. 3.5):

- бизнес-слой;
- архитектура данных;
- интеграция физических данных;
- концептуальная модель/модель процессов;
- архитектура приложений;
- технологическая архитектура;
- техническая модель.

Бизнес-слой идентифицирует функции, процессы, организацию и информационные потоки, обеспечивающие миссию организации. Он представляет исходную точку зрения для анализа данных, исполь-

зуемых приложений и их возможностей, а также реализацию технологий, необходимых для поддержания повторного использования компонентов и выполнения стандартов. В этом слое учитываются все потенциально возможные методы доступа к информации (персональные контакты, электронные средства, бумажные документы, сервис-провайдеры).

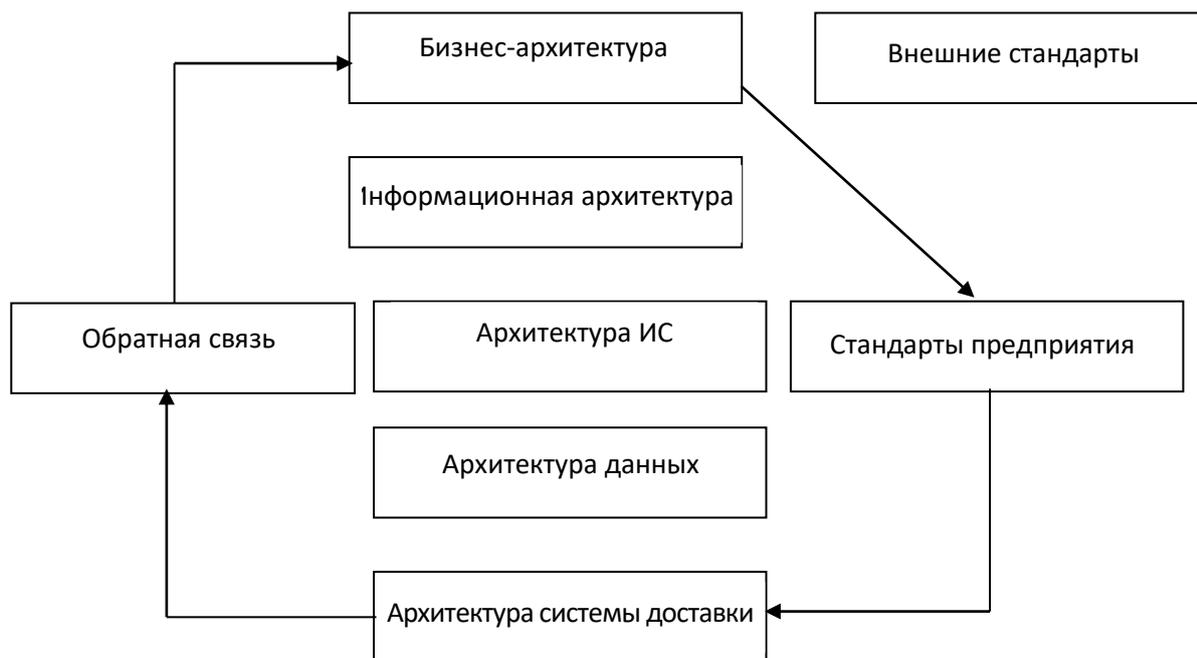


Рис. 3.5. Модель архитектуры предприятия

Архитектура данных определяет главные типы данных, необходимые для поддержки деятельности предприятия, содержит словарь общих данных и определений. В архитектуру данных включаются не только операционные, но и аналитические данные, содержание, представленное на *Web*-сайтах, модель интероперабельности (поддержки взаимодействия).

Архитектура безопасности предусматривается для каждого компонента модели интероперабельности, начиная от услуг электронной аутентификации и заканчивая управлением доступом через запрашивающие приложения и транзакционные услуги. Секретность, как безопасность, отражается во всех компонентах модели интероперабельности.

Архитектура приложений определяет используемые приложения и средства, предназначенные для эффективного управления данными и информацией, для поддержки деятельности и достижения намеченных целей.

Технологическая архитектура определяет доступное компьютерное оборудование, программное обеспечение, а также физическое расположение с позиции поддержания приложений, данных, функций.

Техническая модель показывает, как взаимодействуют те или иные компоненты.

Архитектура информационной системы представляет собой детальное руководство, которое определяет основные, стандартные или типовые элементы ИТ-систем, их взаимосвязь, а также процессы управления ИТ-системой.

ИТ-архитектура подразделяется на набор областей верхнего уровня (доменов), описывающих отдельные компоненты ИТ-систем. В состав списка доменов входят следующие области:

- управление приложениями, данными, информацией;
- управление пользователями и их доступом;
- сети и коммуникации;
- платформы;
- управление системами;
- информационная безопасность и др.

Для каждой области определяются возможные технологии. Так, для домена управления данными могут быть реляционные СУБД, почтовые базы, файловые каталоги, продукты и версии продуктов. Для каждой области, технологии и продукта могут устанавливаться «требования соответствия», определяющие необходимость соблюдения тех или иных международных рекомендаций (*RFC*), стандартов, российских законодательных актов, например, по применению сертифицированных средств, внутренних инструкций и т. п.

Все описание архитектуры представляется в виде гипертекстовой базы данных, что позволяет эффективно организовать процесс управления жизненным циклом отдельных документов, а также эффективно разграничить права доступа к некоторым разделам при сохранении целостности и единства описания.

### *3.3.3. Логико-лингвистические и семиотические модели*

По завершении этапа вербального моделирования информационной системы или процесса при условии, что логическая компонента модели была успешно выделена (маркирована или акцентирована), становится возможен переход на следующий уровень – уровень логико-лингвистического моделирования [16].

Формализация затрагивает преимущественно логический аспект существования или функционирования моделируемой системы. При построении логико-лингвистических моделей широко используется символичный язык логики и формализм теории графов и алгоритмов. Наиболее распространенным способом формального представления логико-лингвистических моделей является граф. В роли вершин графа выступают атомарные (примитивные) или сложные утверждения на естественном языке, или символы, их заменяющие. Связи могут маркироваться различным образом, в частности, дуги могут отображать наличие функциональных зависимостей и операционных связей.

Процедура преобразования данных в ЭВМ связана с процедурой организации вычислительного процесса (ОВП), поскольку программа преобразования данных поступает в оперативную память ЭВМ и начинает исполняться после предварительной обработки управляющими программами процедуры ОВП [4]. Процедура преобразования состоит в том, что ЭВМ выполняет типовые операции над структурами и значениями данных (сортировка, выборка, арифметические и логические действия, создание и изменение структур и устройств данных и т. п.) в количестве и последовательности, заданных алгоритмом решения вычислительной задачи. На логическом уровне алгоритм преобразования данных выглядит как программа, составленная на алгоритмическом языке программирования. Программа преобразования данных состоит из описания типов данных и их структур, которые будут применяться при обработке, и операторов, указывающих, какие типовые действия и в какой последовательности необходимо проделать над данными и их структурами.

Таким образом, управление процедурой преобразования данных осуществляется в первую очередь программой решения вычислительной задачи, и если решается автономная задача, то никакого дополнительного управления процедурой преобразования не требуется. Управление требуется, если информационная технология организует-

ся для периодического решения комплекса взаимосвязанных функциональных задач управления, когда необходимо оптимизировать процедуру преобразования данных по критерию минимизации времени обработки данных либо по критерию минимизации объема затрачиваемых вычислительных ресурсов. Первый критерий особенно важен в режиме реального времени, а второй – в мультипрограммном режиме.

Задачей управления процедурой преобразования данных является, с одной стороны, минимизация информационных потоков между памятью ЭВМ и процессами, с другой – исключение дублирования операций в комплексе функциональных программ.

Первая часть задачи может быть формализована, если структурировать программу на типы применяемых в ней операций, совокупности используемых в них данных (информационных устройств) и связи между ними. Тогда модель этой части задачи преобразования данных может быть представлена в виде двудольного графа, состоящего из множества узлов-операций, соединенных дугами с множеством узлов информационных устройств (рис. 3.6).

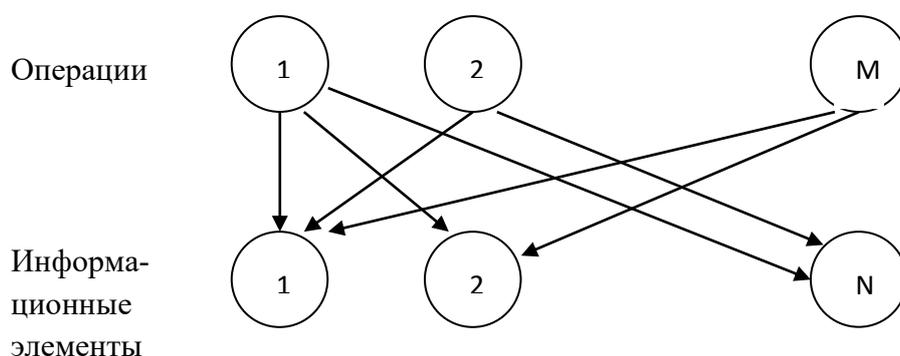


Рис. 3.6. Граф преобразования данных

Этот граф можно сделать раскрашенным, пометить различным цветом дуги, относящиеся к разным информационным элементам. Тогда задача минимизации информационных потоков будет состоять в разбиении раскрашенного графа на подграфы (модули), при котором минимизируется суммарное число дуг различного цвета, связывающих выделенные подграфы.

Широкое применение логико-лингвистические модели нашли в отрасли разработки программного обеспечения, управления корпоративными информационными ресурсами и многих других отраслях,

где требуется определенный уровень формализации, представляющий единство строгости, интуитивной понятности и высокой выразительной способности моделей.

Логико-смысловые модели позволяют формировать тематически связанные описания различных аспектов проблемы (как и проблемы в целом) и проводить структурный анализ проблемной области. Тематически связанные описания получаются за счет выделения из общей совокупности когнитивных элементов логико-смысловой сети тех, которые непосредственно относятся к заданной тематике. В качестве примера применения логико-смыслового моделирования можно рассматривать гипертекстовые системы, получившие широкое распространение в глобальной телекоммуникационной сети Интернет.

#### ***3.3.4. Статистические, теоретико-вероятностные модели***

Статистическая, или теоретико-вероятностная модель (стохастическая модель) – это модель, в которой обеспечивается учет влияния случайных факторов в процессе функционирования системы, основанная на применении статистической или теоретико-вероятностной методологии по отношению к повторяющимся феноменам. Данная модель оперирует количественными критериями при оценке повторяющихся явлений и позволяет учитывать их нелинейность, динамику, случайные возмущения за счет выдвижения на основе анализа результатов наблюдений гипотез о характере распределения некоторых случайных величин, сказывающихся на поведении системы.

Важную роль в статистических моделях играют гипотезы о характере процессов смены состояний в моделируемой системе. Так, например, весьма интересный случай представляет собой гипотеза о «марковости» процессов. Если существует уверенность в марковости процесса, это существенно меняет представления о системе. Она может рассматриваться как «инерционная», в большой степени зависящая от текущего ее состояния и характера возмущающего воздействия. Методы статистического моделирования широко распространены в сфере стратегического планирования и управления. С примерами статистического управления технологическими процессами можно ознакомиться в [7, 13].

### 3.3.5. Аналитические модели

Данный класс моделей обладает высочайшей степенью формализации описаний и применяется там, где закономерности протекания процессов и функционирования системы хорошо изучены, а сами процессы могут рассматриваться как детерминированные [16].

Аналитическое математическое моделирование – это вид моделирования, в ходе которого основная роль отводится аналитической математической модели, обладающей следующими особенностями:

- она строится на основе некоторой теории или научной гипотезы;
- описывает в целом определенный аспект моделируемой системы (процесс в системе) посредством различных математических конструкций (функций или функционалов, алгебраических или дифференциальных уравнений и т. д.);
- позволяет получать конечные результаты исследования в виде некоторых формальных соотношений, пригодных для производства количественного или качественного анализа.

Проведению аналитического моделирования может предшествовать построение концептуальной модели с целью установления того, какой именно теоретический аппарат целесообразно использовать для моделирования данной конкретной системы.

При организации обслуживания вычислительных задач на логическом уровне создается модель задачи обслуживания, которая может иметь как прямой, так и оптимизационный характер. При постановке прямой задачи данными служат параметры вычислительной системы (ВС), а решением – показатели эффективности организации вычислительных процессов. При постановке оптимизационной задачи задаются требуемые показатели эффективности ОВП и требуется определить параметры ВС [4].

В вычислительной системе являются случайными моменты появления заданий и момент окончания вычислительной обработки. Поэтому при проектировании ВС пользуются статистическими данными о среднем количестве поступающих заявок в единицу времени на обработку в ВС, а также о среднем времени решения одной задачи. Эти данные позволяют рассматривать процедуру организации вычислительного процесса (ВП) с помощью теории систем массового обслуживания.

Рассмотрим модель обслуживания вычислительных заданий, введя следующие предположения:

- в системе протекают марковские случайные процессы;
- потоки событий (появление заданий, окончание их обработки) являются простейшими. Простейший поток событий характеризуется стационарностью (независимость параметров во времени), ординарностью (события в потоке появляются поодиночке) и беспоследствием (появляющиеся события не зависят друг от друга);
- число заданий в очереди не ограничено, но конечно.

Обозначим состояния рассматриваемой системы:

$S_0$  – в системе нет заданий;

$S_1$  – в системе одно задание и оно обрабатывается на ЭВМ1;

$S_n$  – в системе  $n$  заданий и они обрабатываются на ЭВМ1, ЭВМ2, ЭВМ $n$  ;

$S_{n+1}$  – в системе  $(n + 1)$  заданий,  $n$  заданий обрабатываются на ЭВМ и одно задание стоит в очереди;

$S_{n+m}$  – в системе  $(n + m)$  заданий,  $n$  заданий обрабатываются на ЭВМ и  $m$  заданий стоят в очереди.

Рост числа заявок в системе происходит под воздействием их потока с интенсивностью  $\lambda$ , а уменьшение – под воздействием потока обслуживания с интенсивностью  $\mu$ . Размеченный граф состояний системы приведен на рис. 3.7.

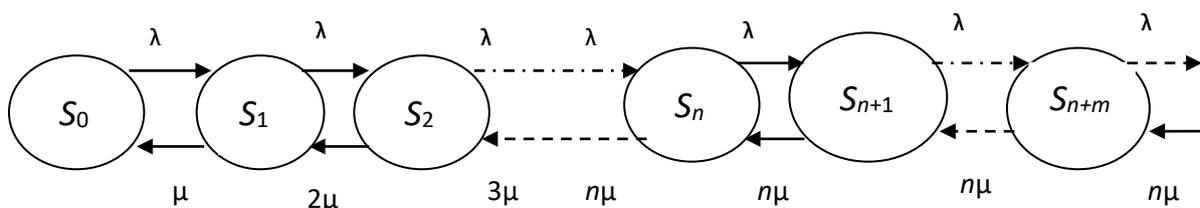


Рис. 3.7. Граф состояний многоканальной системы обслуживания с неограниченной очередью

Увеличение числа одновременно работающих машин приводит к росту интенсивности обслуживания от  $\mu$  до  $n\mu$ . Дальнейший рост числа заявок переводит систему в состояние  $n + 1, n + 2, \dots, n + m$ , а интенсивность потока обслуживания будет оставаться неизменной, равной  $n\mu$ .

В процессе работы реальные вычислительные системы быстро достигают установившегося режима. Тогда вероятности состояний не

будут зависеть от времени. Для вычисления финальных вероятностей используют систему дифференциальных уравнений Колмогорова, которые превращаются в систему алгебраических уравнений. На основе графа (см. рис. 3.7) может быть записана следующая система алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} \lambda P_0 &= \mu P_1; \\ (1\mu + \lambda)P_1 &= \lambda P_0 + 2\mu P_2; \\ (2\mu + \lambda)P_2 &= \lambda P_1 + 3\mu P_3; \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ (n\mu + \lambda)P_n &= \lambda P_{n-1} + n\mu P_{n+1}; \\ (n\mu + \lambda)P_{n+1} &= \lambda P_n + n\mu P_{n+2}; \\ &\dots\dots\dots \\ (n\mu + \lambda)P_{n+j} &= \lambda P_{n+j-1} + n\mu P_{n+j+1}; j \geq 1. \end{aligned}$$

Финальные вероятности состояний системы в результате решения системы уравнений описываются следующими уравнениями:

$$P_0 = \left( 1 + \sum_{i=1}^n \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \right)^{-1},$$

$$P_i = \frac{\rho^i}{i!} P_0, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

$$P_{n+j} = \frac{\rho^{n+j}}{n^j n!} P_0,$$

где  $P_0$  – вероятность состояния  $S_0$ , при котором в системе заявок нет;  $\rho = \lambda/\mu$  – параметр системы, показывающий, сколько в среднем заявок приходит в систему за время обслуживания заявки одной ЭВМ (одним каналом обслуживания);  $P_i$  – вероятность состояния системы  $S_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $P_n$  – вероятность того, что все ЭВМ заняты обслуживанием заявок;  $P_{n+j}$  – вероятность того, что все ЭВМ системы заняты обработкой заданий и  $j$  заявок стоят в очереди.

Приведенные формулы имеют смысл тогда, когда очередь конечна, т. е.  $\rho/n < 1$  или  $\lambda/n\mu < 1$ . Это выражение говорит о том, что в среднем число заданий, приходящих в вычислительную систему в единицу времени, должно быть меньше числа обрабатываемых зада-

ний в единицу времени всеми ЭВМ системы. При  $\rho/n > 1$  очередь растет до бесконечности и такая система не справится с потоком заданий. Появляются задания, ожидающие обработки вечно.

Основными показателями эффективности работы системы являются:

– среднее число занятых каналов (ЭВМ)

$$\bar{k} = \frac{\lambda}{\mu} = \rho;$$

– среднее число заданий в очереди

$$L_{\text{оч}} = \frac{\rho^{n+1} P_0}{nn! (1 - \rho/n)^2};$$

– среднее число заданий в системе

$$L_{\text{сист}} = L_{\text{оч}} + \bar{k};$$

– среднее время пребывания задания в системе

$$W_{\text{сист}} = \frac{L_{\text{сист}}}{\lambda};$$

– среднее время пребывания задания в очереди

$$W_{\text{оч}} = \frac{L_{\text{оч}}}{\lambda}.$$

Для уменьшения времени пребывания задания в системе, а значит и в очереди, требуется при заданной интенсивности потока заявок либо увеличивать число обслуживающих ЭВМ, либо уменьшить время обслуживания каждой ЭВМ, либо и то и другое вместе.

С помощью теории массового обслуживания можно получить аналитические выражения и при других дисциплинах обслуживания очереди и конфигурациях вычислительной системы.

Важным достоинством аналитического моделирования можно считать возможность получения на его основе фундаментальных результатов и инвариантных зависимостей, которые могут быть распространены как на различные случаи использования моделируемой системы в тех или иных ситуациях, так и на случаи рассмотрения других систем данного класса.

Основной недостаток аналитического моделирования в том, что его применение к сложным системам требует существенной идеализации описания системы. Это связано с разрастанием объемов вычис-

лений даже при несущественном усложнении описаний. Такая идеализация может приводить к неполной адекватности получаемых результатов и тому, что эти результаты могут использоваться лишь в качестве первого приближения.

### ***3.3.6. Имитационные модели***

Имитационная модель – это комплексное логико-математическое представление системы, реализованное в виде программы, предназначенной для решения на ЭВМ, включающее в себя модели различного типа и рассматривающее аспект функционирования динамической системы во времени [16]. Данный класс моделей применяется при невозможности строгого аналитического решения задачи или проведения натурального эксперимента. Имитационные модели служат для изучения поведения во времени сложной неоднородной динамической системы, относительно структуры которой существуют точные знания или детализированные гипотезы.

Частным случаем имитационных моделей являются модели ситуационные, используемые при решении задач с неопределенностью исходя из совокупности ситуаций. Под ситуацией будем понимать временное отношение, сложившееся между ее объектами-участниками либо между состояниями этих объектов.

Соответственно под ситуационным моделированием будем понимать метод анализа некоторой системы с применением ситуационной модели, с требуемой степенью адекватности отображающей логическую, временную, пространственную структуры процессов, а также характер и структуру информации о состоянии системы и изменении образующих ее элементов.

Для создания ситуационных моделей требуется решить следующие задачи:

- создать информационную модель фрагмента реального мира, в которой каждому явлению, процессу или участнику будет соответствовать уникальный информационный аналог;
- обеспечить сбор и регистрацию информации об изменениях ситуации во времени и пространстве введенных признаков;
- оценить прогностический потенциал тех или иных ситуаций (что связано с инерционностью вовлеченных в ситуацию объектов и системы в целом и т. п.).

В целом структура ситуационной модели определяется субъективными особенностями восприятия и свойственным аналитику способом разложения ситуации на составляющие. Это вызвано тем, что эксперт-аналитик, осуществляющий процедуру синтеза ситуационной модели, формулирует свои собственные критерии, соответствующие пребыванию системы в том или ином состоянии.

Построение имитационной модели системы с целью проведения расчетов характеристик надежности начинается с изучения структурной схемы системы и стратегии ее функционирования. На основании структурной схемы строится надежностьная схема системы, которая характеризует статическую составляющую системы. В качестве аппарата для представления схем системы используется аппарат теории графов. Элементы системы изображаются в виде вершин графа, связи между элементами – в виде дуг (рис. 3.8). После построения надежностьной схемы системы в виде графовой модели ее необходимо представить в виде функциональной зависимости (формализованное представление структуры системы). При построении имитационных моделей для формализованного представления надежностьной схемы системы рекомендуют использовать аппарат алгебры логики, позволяющий вероятностные характеристики надежности системы, такие как вероятность отказа или вероятность безотказной работы, вычислять через логические функции работоспособности.

Следующим этапом построения имитационной модели можно считать отображение стратегии ее функционирования. На этом этапе выполняют построение динамической составляющей модели системы. В качестве примера рассмотрим достаточно общую стратегию функционирования системы. Пусть в моменты времени  $T_k, 2T_k, \dots, nT_k$  проводятся контрольные мероприятия по проверке неисправности элементов системы. Если в момент контроля исправности элементов обнаруживается отказ, то начинаются восстановительные мероприятия. Могут быть ситуации, когда при проведении контрольных проверок отказ не обнаруживается, и элемент простаивает в состоянии отказа до следующего момента контроля. Функционирование системы продолжается до момента времени  $T_p$ , если система не отказала, или до момента отказа. В момент времени  $T_p$  начинается плановая профилактика, в момент отказа системы – аварийная профилактика. После профилактического обслуживания система полностью обновляется, и процесс функционирования начинается заново.

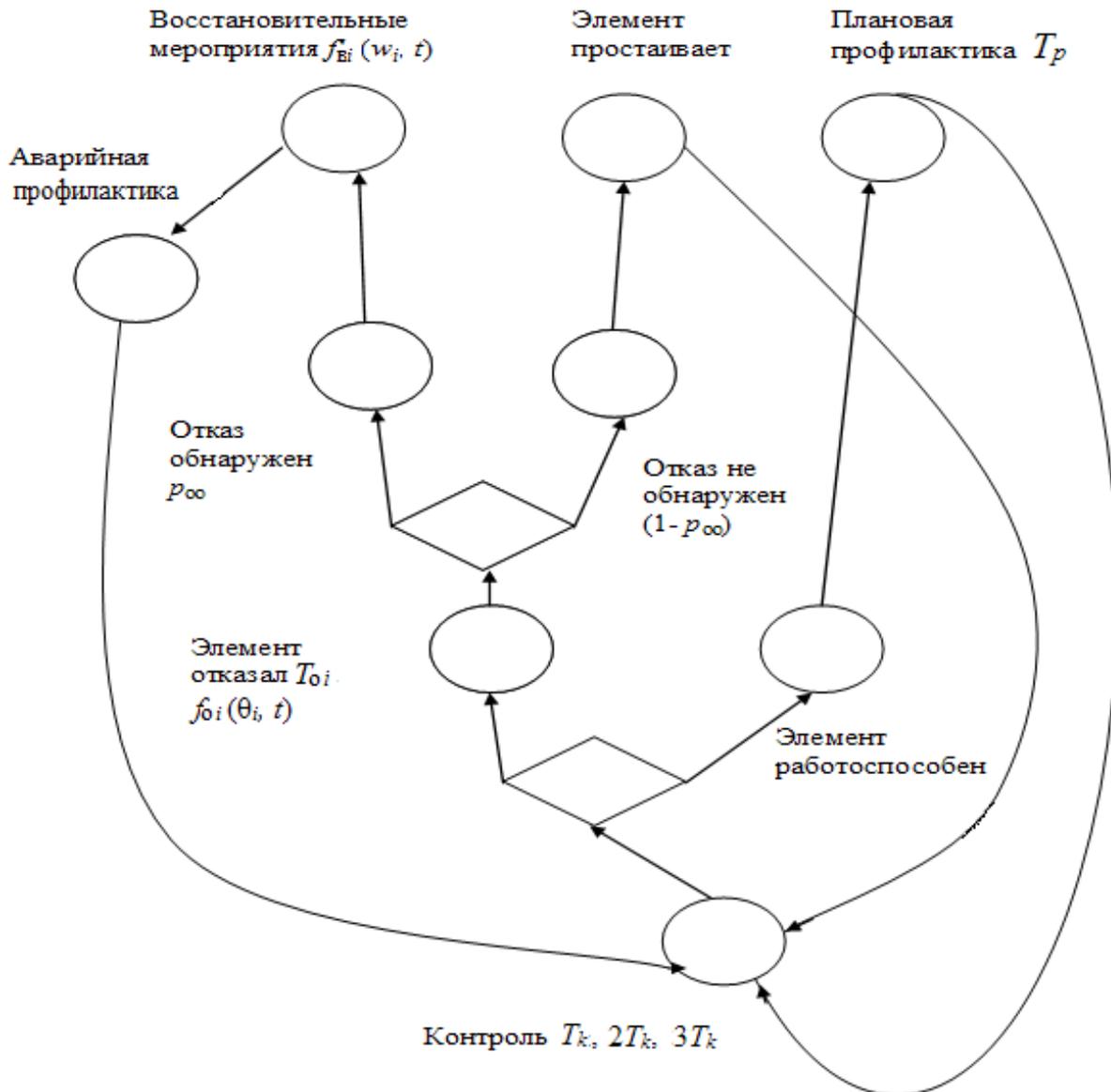


Рис. 3.8. Функциональное представление структуры системы:  $f_{oi}(\theta_i, t)$  – плотность распределения наработки на отказ;  $f_{vi}(w_i, t)$  – плотность распределения времени восстановления;  $i$  – номер элемента в системе;  $p_{oo}$  – вероятность обнаружения отказа

Будем считать заданными периоды между проведением контрольных проверок  $T_k$  и период времени  $T_k$ , при достижении которого система подвергается восстановлению. Для организации процесса моделирования необходимо также задать вероятность обнаружения отказа  $p_o$  и исходные данные для моделирования отказов и восстановлений элементов, а именно, плотность распределения наработки до отказа для каждого элемента, входящего в состав системы;  $f_{oi}(\theta_i, t)$ , где  $i$  – порядковый номер элемента;  $\theta_i$  – вектор параметров закона

распределения;  $t$  – плотность распределения времени восстановления для каждого элемента;  $f_{oi}(w_i, t)$ ,  $w_i$  – вектор параметров закона распределения времени восстановления.

После задания всех исходных параметров переходят к организации процесса моделирования.

Статистическое оценивание вероятности безотказной работы системы производится по следующей схеме. Для каждого элемента системы моделируется случайное время наработки до отказа  $T_{oi}$ . Моделирование осуществляется на основании заданной плотности распределения наработки до отказа  $f_{oi}(\theta_i, t)$ . Далее на основании заданной вероятности обнаружения отказа моделируется событие, состоящее в обнаружении или необнаружении отказа.

Если отказ обнаружен, то после ближайшего к наработке до отказа данного элемента момента контроля начинается восстановление элемента. Если выпало событие, состоящее в том, что в ближайший момент контроля отказ не обнаружен, то элемент находится в состоянии отказа до следующего момента контроля. В следующий момент контроля заново моделируется событие, состоящее в обнаружении или необнаружении отказа. Если отказ обнаружен, начинается восстановление элемента. Случайное время восстановления элемента моделируется на основании заданной плотности распределения времени восстановления.

Здесь необходимо отметить, что изменение состояния системы может произойти только в моменты изменения состояния элементов. Следовательно, для обнаружения отказа системы необходимо просматривать только изменения состояний элементов.

Работоспособность системы определяется тем, был ли в анализируемом интервале времени отказ системы. Если был, то  $p_c = 0$ , если отказа не было,  $p_c = 1$ . Если в рассматриваемый промежуток времени отказа системы не было, переходят к следующему интервалу времени. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет равна нулю величина  $p_c$ . Если на одном из проверяемых периодов величина  $p_c$  приняла значение 0, это значение запоминается и начинается следующая итерация моделирования. Если ни на одном из рассматриваемых интервалов величина  $p_c$  не приняла значение 0, то отказа системы не было, и значение  $p_c$  в данном испытании равно 1.

Проводя данную процедуру  $N$  раз, получаем  $N$  значений величины  $p_c$ . Статистическую оценку вероятности безотказной работы системы находят путем усреднения значений  $p_c$ .

### **3.4. Анализ информационных систем. Виды анализа систем управления**

Информационная система какого-либо объекта является формализованной моделью, которая в той или иной степени отражает наиболее существенные его свойства. Проектирование информационных систем становится основой для разработки автоматизированных систем моделирования и управления ресурсами (человеческими, финансовыми, материальными, энергетическими, информационными и др.) различных объектов. В качестве объектов анализа будем рассматривать информационные системы управления (ИСУ) [14].

Под анализом понимается процесс исследования системы управления, основанный на ее декомпозиции с последующим определением статических и динамических характеристик составляющих элементов, рассматриваемых во взаимосвязи с другими элементами системы и окружающей средой.

Цели анализа системы управления:

- детальное изучение системы управления для более эффективного использования и принятия решения по ее дальнейшему совершенствованию или замене;
- исследование альтернативных вариантов вновь создаваемой системы управления с целью выбора наилучшего варианта.

К задачам анализа системы управления относятся:

- определение объекта анализа;
- структурирование системы;
- определение функциональных особенностей системы управления;
- исследование информационных характеристик системы;
- определение количественных и качественных показателей системы управления;
- оценка эффективности системы управления;
- обобщение и оформление результатов анализа.

Кратко рассмотрим содержание названных составляющих системного анализа. При решении этой задачи нужно выполнить следующие действия:

- выделить анализируемую систему управления;
- определить цели и задачи управления;
- произвести первичную декомпозицию системы с выделением управляющей подсистемы (органов управления), объектов управления (исполнителей) и окружающей среды.

Исследователь может избрать одно из двух направлений анализа: первое – определение состояния системы управления, чтобы обозначить зоны, требующие улучшения, и стимулирование изменений; другое – исследование альтернативных вариантов вновь создаваемой системы с целью выбора лучшего варианта.

При необходимости выделяются подсистемы и факторы окружающей среды, оказывающие положительное (обеспечивающие подсистемы) и отрицательное (конкурент-противник, климатические, территориальные и другие условия) влияние на функционирование системы.

Устанавливаются виды и формы воздействий управляющей подсистемы и реакций объектов управления, а также воздействий окружающей среды. Определяются основные требования, предъявляемые к системе, и формулируется общий алгоритм функционирования.

### ***3.4.1. Структурирование системы***

Изучаемые, создаваемые и проектируемые в настоящее время системы характеризуются исключительной сложностью. Сложность системы определяется большим числом элементов и выполняемых ими функций, высокой степенью взаимодействия элементов, сложностью алгоритмов выбора тех или иных управляющих воздействий и большими объемами перерабатываемой при этом информации.

Одними из основных черт систем управления считаются иерархичность и сложные структурные и функциональные взаимоотношения между элементами системы.

В зависимости от задачи исследования в понятие структуры системы управления включаются различные вопросы. Так, в автоматизированной системе управления отраслью под структурой понимается определение множества узлов системы и связей между ними, распре-

деление задач, возлагаемых на технические средства АСУ, по уровням и узлам системы и выбор комплекса технических средств, обеспечивающих их эффективное решение. Под структурой управления технологическими процессами в АСУ понимается схема, задающая, во-первых, распределение технологических процессов комплекса по подсистемам различных уровней с подчинением подсистем данного уровня подсистемам вышестоящего уровня; во-вторых, распределение функций управления и соответствующих им алгоритмов по подсистемам. Распределение первого вида представляет собой производственную структуру комплекса, распределение второго рода – функциональную структуру управляющего органа. Оба аспекта взаимосвязаны и обоснование структуры предполагает их разработку с учетом этих взаимосвязей.

Под структурой производственной организации понимается устойчивое пространственно-временное распределение хозяйственных решений и обеспечивающих их реализацию ресурсов с соответствующими взаимосвязями.

Под структурой организационной системы подразумевается форма распределения задач и полномочий по принятию решений между лицами или группами лиц (структурными подразделениями), составляющими организационную систему (организацию), направленную на достижение стоящих перед ней целей.

К целям структурирования можно отнести детальное изучение системы управления, установление связей и отношений между ее элементами.

Различные варианты структур анализируемой системы позволяют определить характеристики и отдельные частные недостатки выделенных элементов и связей между ними и наметить пути их устранения.

Следовательно, под задачей анализа структуры понимается определение основных характеристик системы при некоторой выбранной (фиксированной) структуре.

Основные характеристики структуры системы могут быть разбиты на две группы. К первой относятся характеристики, связанные с иерархичностью систем: число подсистем рассматриваемой системы, характер взаимосвязей между уровнями (подсистемами), степень централизации и децентрализации в управлении, признаки разбиения си-

стемы на подсистемы. Ко второй – эффективность (в широком смысле) функционирования системы той или иной структуры: эффективность (стоимостная), надежность, живучесть, быстродействие и пропускная способность, способность к перестройке и др.

### ***3.4.2. Определение функциональных особенностей системы***

Задача определения функциональных особенностей системы строго связана с задачей структурирования. С учетом структурирования определяются перечень частных задач и функции каждого элемента системы, порядок их взаимодействия, необходимые входные и выходные данные.

#### *Исследование информационных характеристик системы*

Информационные связи между подсистемами различных уровней принято называть вертикальными, а между подсистемами одного уровня – горизонтальными.

Информация служит целезадающим, объединяющим, координирующим условием, осуществляющим информационную и интеллектуальную поддержку выработки решения.

В процессе исследования информационных характеристик определяются:

- сущность и качество информации, используемые для выработки управляющих воздействий;
- достаточность информации для выработки управляющих воздействий;
- суммарные объемы поступающей и исходящей информации в единицу времени в целом по системе и отдельно по основным элементам;
  - объем информации, постоянно хранящейся в системе;
  - единичные объемы передаваемой информации;
  - способы передачи или доставки информации;
  - основные направления информационных потоков и др.

#### *Определение количественных и качественных показателей системы*

После уяснения поставленной задачи, определения объекта анализа и составления его многоуровневого описания производятся:

- предварительный выбор перечня показателей каждого уровня;

- разработка моделей и методов определения показателей различных уровней;
- уточнение условий определения показателей, включающих предполагаемые воздействия надсистемы, возможность интегрирования с другими системами управления и наличие дублирующих систем.

В результате решения данной задачи:

- систематизируются частные качественные и количественные показатели структур, процессов функционирования и информации;
- определяются обобщенные показатели, характеризующие внешние свойства анализируемой системы и ее отдельных элементов.

#### *Оценка эффективности*

Данная задача решается с целью определения достигнутых в процессе функционирования системы управления результатов и затраченных на их достижение материальных и временных ресурсов.

Надо отметить, что понятие показателя, оценивающего функционирование системы, используется в двух смыслах. Во-первых, это показатели, измеряющие те или иные результаты реального (или имитационного) функционирования системы – экспериментальные показатели функционирования. Во-вторых, это теоретические оценки возможных значений экспериментально определяемых показателей – теоретические показатели функционирования. Значения теоретических и экспериментальных показателей функционирования могут не совпадать. Несовпадение может быть обусловлено несовершенством («грубостью») метода построения теоретических оценок, недостаточной информированностью лица, дающего соответствующие теоретические оценки, возможностью нескольких вариантов течения процесса функционирования и др. Точность теоретических оценок представляет собой «меру соответствия» теоретически построенных оценок их экспериментальным значениям.

#### *Обобщение и оформление результатов анализа*

Задача документального обобщения и оформления результатов анализа включает:

- краткое описание структуры, процессов функционирования и информационных потоков системы;
- обобщенное значение показателей и результатов оценки эффективности системы (приводятся значения показателей);

– обобщенные выявленные недостатки и предварительные рекомендации по дальнейшему использованию системы, совершенствованию или ее замене.

Виды анализа систем управления приведены в [14].

### **3.4.3. Структурный и функциональный анализы систем управления**

Сущностью *структурного анализа ИСУ* является определение статических характеристик системы по ее структуре. Структурный анализ проводится с целью исследования статических характеристик системы путем выделения в ней подсистем и элементов различного уровня и связей между ними.

Объекты исследования структурного анализа – это различные варианты структур системы управления, которые формируются в процессе ее декомпозиции.

В качестве показателей исследуемых структур используются:

- множество выделенных элементов, отношений и связей;
- характеристики элементов и связей;
- обобщенные показатели структур, характеризующие их влияние на эффективность системы управления (число уровней управления, структурная устойчивость, экономические затраты на поддержание требуемых структурных характеристик и др.).

При выборе и оценке показателей структуры применяются различные методы описания и моделирования, которые зависят от вида структуры, степени неопределенности исходных данных и требований, предъявляемых к точности и достоверности результатов анализа. Процедура определения показателей структуры включает следующие этапы:

- определение исходных данных для оценки структуры;
- вычисление значений характеристик элементов структуры и связей между ними;
- вычисление значений характеристик (показателей эффективности) структуры.

Структурные характеристики процесса управления используются для оценки множества анализируемых элементов (функций, работ, действий, фаз, этапов и др.) процесса управления и связей между ними.

К структурным характеристикам процесса управления организационными системами (при их декомпозиции по уровням и функци-

ям) можно отнести число функций управления каждого уровня и общее число функций управления, реализуемых исследуемым процессом управления; подчиненность (зависимость по входной и выходной информации) функций управления; число функций управления, выполнение которых зависит от выходной информации функций управления вышестоящего уровня; время реализации каждой функции управления.

При анализе структуры процесса управления целесообразно учитывать следующие характеристики сетевых структур организационных систем: связанность структуры, определяемую количеством информационных связей между выделенными функциями процесса; структурную избыточность, определяющую превышение числа связей между функциями процесса над минимально необходимым.

К частным характеристикам процесса управления можно отнести количество информационных входов и выходов каждой функции; число и перечень информационных и расчетных задач, решаемых при реализации соответствующей функции управления; объем входной, выходной и обрабатываемой информации; средняя продолжительность или другие вероятностные характеристики сроков решения соответствующих частных задач; характеристики потока заявок на выполнение соответствующих функций; перечень и характеристика алгоритмов, машинных программ или пакетов прикладных программ, используемых для реализации функций.

Связи между функциями процесса управления могут оцениваться с использованием следующих характеристик: объема и содержания информации, передаваемой с использованием соответствующей связи времени передачи информации; характера возмущений, влияющих на качество передаваемой информации.

Рассматривая структуру и функцию, первичным считают изменение функции. Однако правильнее рассматривать их изменения в процессе эволюции в диалектической взаимосвязи и взаимообусловленности (изменение среды требует изменения функции, а она, в свою очередь, влияет на изменение структуры).

*Функциональный анализ* осуществляется одновременно с исследованием структуры системы управления. Сущностью функционального анализа является определение динамических характеристик системы на основании принятых алгоритмов ее функционирования.

Функциональный анализ проводится с целью определения динамических характеристик системы путем исследования процессов изменения ее состояний с течением времени на основе принятых алгоритмов (способов, методов, принципов, концепций) управления. Можно сказать, что функциональный анализ направлен на детальное исследование процессов управления.

Объектами функционального анализа выступают реализуемые системой методы и алгоритмы управления, включая общий алгоритм функционирования, содержащий все основные этапы (фазы, функции) управления, и частные методы и алгоритмы, направленные на выполнение отдельных этапов управления. Функциональный анализ может включать следующие основные этапы:

- определение и описание общего процесса управления, реализуемого исследуемой системой;
- декомпозиция общего процесса управления на ряд частных функций (задач, операций), выполняемых элементами системы управления;
- определение качественных и количественных характеристик исследуемых процессов и функций управления;
- формирование критериев и оценка эффективности функционирования системы управления;
- принятие решения о необходимости совершенствования функциональных характеристик системы управления.

В ходе функционального анализа определяются качественные и количественные характеристики исследуемых процессов с целью принятия обоснованных решений о степени соответствия системы управления предъявляемым требованиям и необходимости ее дальнейшего совершенствования.

Совокупность количественных и качественных характеристик можно разделить на комплексные, структурные и частные. Комплексные характеристики позволяют оценивать существенные свойства системы. Структурные характеристики оценивают структуру процесса управления, формируемую в процессе его декомпозиции. Частные характеристики определяют свойства отдельных этапов (фаз), функций, работ и других управленческих действий, рассматриваемых в качестве отдельных элементов процесса управления.

Комплексные характеристики процесса управления включают непрерывность, оперативность, точность, устойчивость, скрытность, эффективность.

Объектом информационного анализа являются информационные процессы, протекающие в системе управления. Остановимся на их сущности и содержании, для чего рассмотрим:

- коммуникационную (информационную) схему передачи информации в системе управления;
- классификацию и характеристику информационных процессов;
- структуру информационного процесса.

Коммуникационная (информационная) схема передачи информации в системе управления показана на рис. 3.9, где источником информации служит объект управления, посылающий по каналу обратной связи (КОС) информацию о своем состоянии.



Рис. 3.9. Коммуникационная схема передачи информации

Приемник информации, он же управляющий объект, в зависимости от количества и содержания информации об объекте управления вырабатывает решение о воздействии на него. Это решение в виде команд и сигналов управления по каналу прямой связи передается на объект управления. После выполнения команд объект управления посылает на управляющий объект информацию об изменении своего состояния и т. д. Таким образом, замыкается цикл обмена информацией в системе управления.

В реально функционирующих системах управления на источник информации, приемник информации и линию передачи информации воздействует среда, в которой данная система функционирует, внося свои коррективы в количество и качество информации.

Процесс управления как процесс выработки управляющих воздействий является информационным процессом. Любой информаци-

онный процесс в системе управления структурно можно представить как некоторую совокупность процессов:

- сбор, прием, восприятие информации (эти процессы отражают взаимодействие системы с внешней средой);
- передача информации между отдельными подсистемами системы;
- переработка, анализ, отбор информации, создание новой информации;
- использование информации;
- хранение, запоминание информации;
- передача информации из системы во внешнюю среду.

Информационный процесс (ИП) есть целенаправленная совокупность операций по преобразованию информации, реализуемых в определенной среде, начиная с момента ее поступления в систему (возникновения) и кончая выдачей пользователю.

Причем понятие «пользователь» используется в широком смысле. Пользователем могут быть лицо, принимающее решение (ЛПР), получающее информацию в удобном для восприятия виде; технические устройства, преобразователи информации на магнитной ленте, диске, в оперативной памяти, канале связи и т. д.; программы, преобразующие полученную информацию.

Для удобства исследования ИП целесообразно их классифицировать. Классификация информационных процессов проводится при анализе и синтезе систем управления.

#### ***3.4.4. Классификация и характеристика информационных процессов***

При классификации следует различать однородные и неоднородные совокупности ИП (рис. 3.10).

Будем считать заданную совокупность информационного процесса однородной, если характер использования ресурсов системы, обеспечивающей их реализацию, одинаков для всех ИП и порядок обслуживания в ней не связан с их принадлежностью к конкретным ИП. В противном случае совокупность ИП считается неоднородной.

В свою очередь, среди неоднородных совокупностей информационных процессов можно выделить приоритетные и непериприоритетные. Неоднородная совокупность ИП является непериприоритетной, если порядок обслуживания заявок отдельных информационных процессов

не зависит от их принадлежности к конкретным информационным процессам, в противном случае она считается приоритетной.

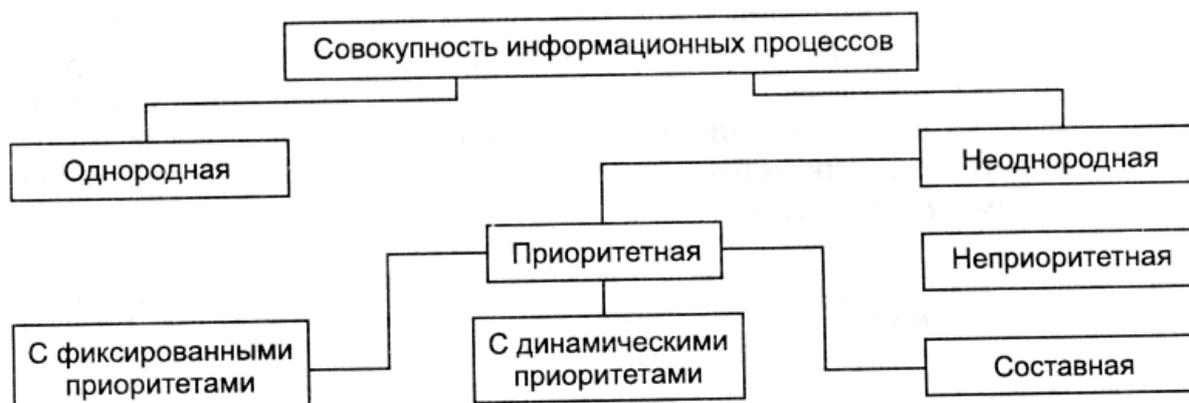


Рис. 3.10. Классификация информационных процессов

Для неприоритетной совокупности ИП наиболее характерны следующие дисциплины обслуживания: в порядке поступления; в обратном порядке; на основе разделения времени.

Для приоритетной совокупности ИП дисциплина обслуживания зависит от важности ИП. Порядок обслуживания (предоставление ресурсов для реализации ИП) основывается на анализе приоритетов ИП, для чего каждому информационному процессу приписывается число, именуемое приоритетом. Обычно считается, что чем меньше это число, тем «важнее» ИП, т. е. тем большее преимущество ему должно быть предоставлено.

По способу назначения приоритета различают системы с фиксированными и динамическими приоритетами. В первом случае числовое значение приоритета ИП сохраняется постоянным в процессе его обслуживания (в том числе и с учетом времени ожидания обслуживания), во втором – с течением времени меняется, являясь некоторой функцией от времени обслуживания.

Приоритетную совокупность, не относящуюся ни к одному из указанных типов, называют составной. Для нее обычно используются различные комбинации описанных способов назначения приоритета «конкурирующих» информационных процессов.

При анализе каждого отдельного ИП следует различать простые и сложные информационные процессы.

Простой ИП можно представить в виде графа, из каждой вершины которого (кроме конечной) исходит одна дуга и в каждую вершину которого (кроме начальной) входит также одна дуга (рис. 3.11).

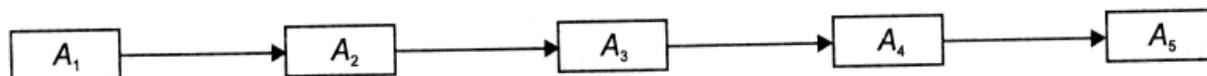


Рис. 3.11. Структура простого информационного процесса

Любой информационный процесс, не являющийся простым, будем называть сложным. Сложные ИП, в свою очередь, подразделяются на ветвящиеся ИП и ИП с размножением. Для определения указанных информационных процессов введем следующие понятия. Будем называть точкой ветвления ИП финальную точку этапа, после завершения которого осуществляется переход на один из альтернативных этапов с вероятностями  $P$  (рис. 3.12).

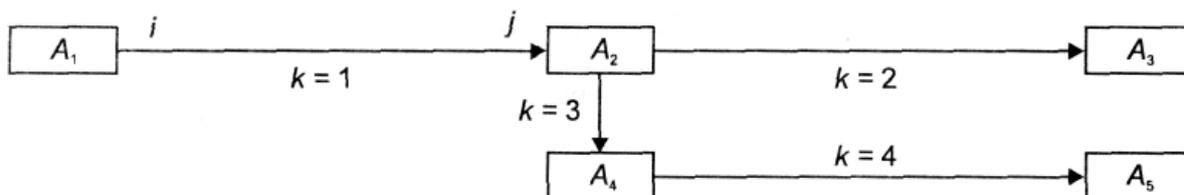


Рис. 3.12. Точки ветвления информационного процесса

На рис. 3.12 из вершины  $A_2$ , соответствующей точке ветвления, выходят две дуги, которые определяют альтернативные пути продолжения информационного процесса.

Назовем точкой размножения ИП финальную точку этапа, после завершения которого осуществляется переход на параллельное выполнение двух и более последующих этапов, в результате чего параллельные ветви вновь сходятся (рис. 3.13).

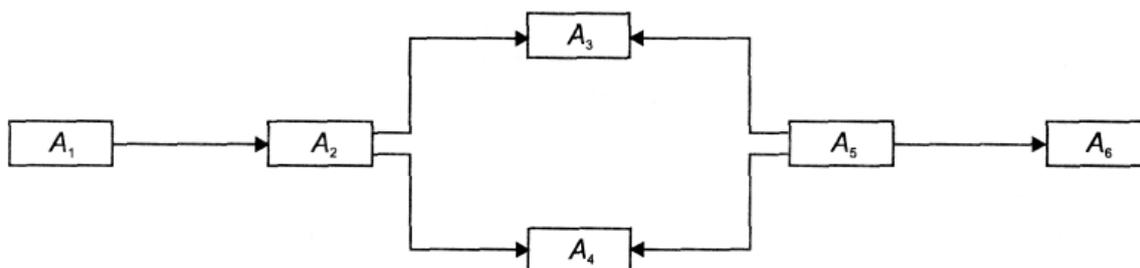


Рис. 3.13. Точки размножения информационного процесса

В этом случае из вершины  $A_2$ , соответствующей точке размножения ИП, исходят две дуги, каждая из которых задает переход на выполнение параллельного подпроцесса (параллельной ветви).

Информационный процесс с размножением определяется как ИП, имеющий хотя бы одну точку размножения. «Чисто» ветвящимся будем называть ИП, у которого есть хотя бы одна точка ветвления и нет точек размножения.

В свою очередь, ИП с размножением подразделяется на ИП с независимыми и зависимыми параллельными ветвями. Параллельная ветвь будет независимой, если ни для одного из этапов задаваемого ею подпроцесса не требуется синхронизация с выполнением других этапов данного ИП. В противном случае такая ветвь считается зависимой. Синхронизация необходима, когда этап данного подпроцесса, завершающий подготовку данных, используемых другим подпроцессом, должен быть выполнен ранее начала этапа последнего подпроцесса, где эти данные обрабатываются. Очевидно, что подавляющее число ИП представляют собой комбинацию ветвящихся и размножающихся информационных процессов.

Несмотря на все многообразие ИП, протекающих в системах управления, с точки зрения технологии обработки информации они имеют много общего. Это позволяет представить обобщенную схему обработки информации в системах управления (рис. 3.14).

Источниками информации в системах управления могут быть должностные лица (ДЛ) органов управления, автоматические датчики (АД) и вычислительные комплексы (ВК). В общем случае информация до момента выдачи ее пользователю проходит следующие основные технологические этапы преобразования:

- сбор данных (вручную или автоматически);
- формирование сообщения (запроса);
- передача данных по каналам связи с использованием средств автоматизации или традиционными способами;
- выдача данных лицу, принимающему решения, или для их ввода в вычислительный комплекс;
- решение информационных или расчетных задач в ВК;
- выдача результатов решения задач ЛПР;
- доведение принятого решения или результатов решения задач до адресатов.

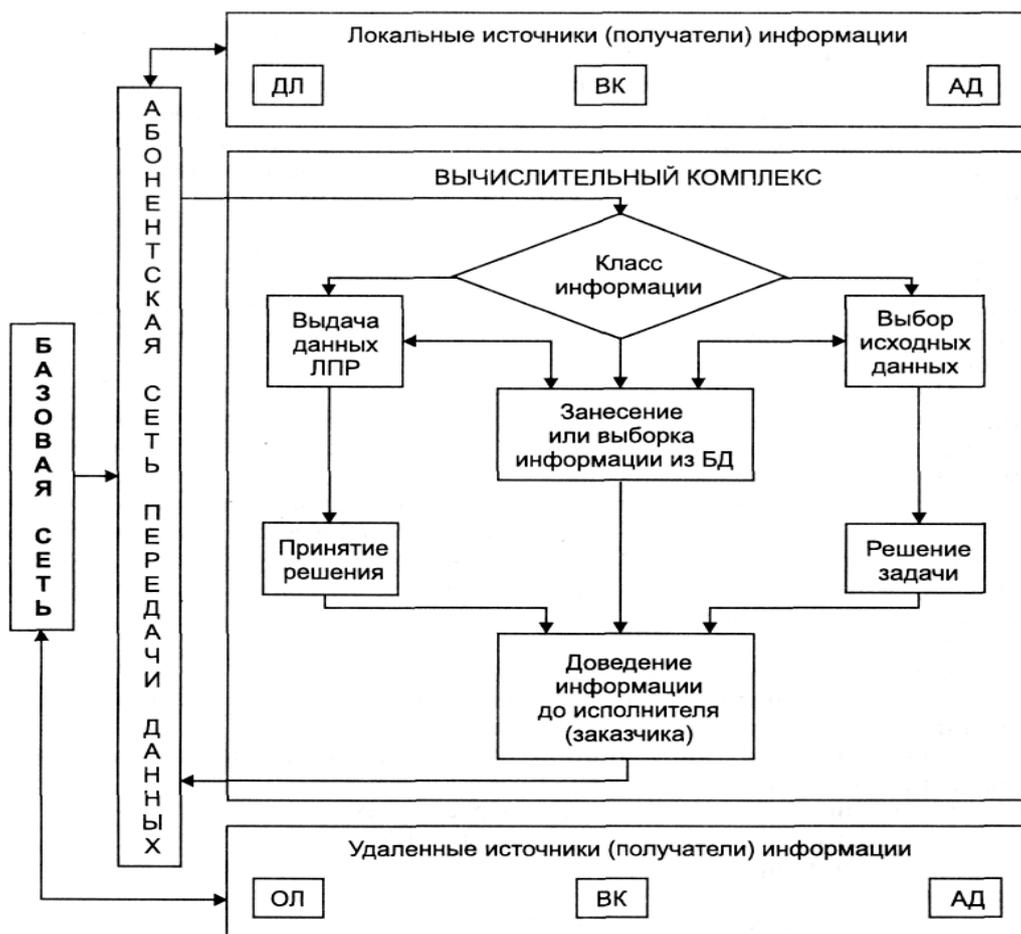


Рис. 3.14. Обобщенная схема обработки информации в системах управления

Для различных категорий пользователей количество этапов, их длительность, а также типы генерируемых ими сообщений (запросов), как правило, различны. Они зависят от конкретного назначения системы, технической реализации ее отдельных элементов, их приоритетов, характера сведений, передаваемых в информационных сообщениях, и т. д.

Так, для получения справки пользователи, локально подключенные к достаточно мощному ВК, могут привлечь другие ВК (т. е. без выхода в систему передачи данных).

**Структура информационного процесса.** Определив понятие информационного процесса как совокупность операций по преобразованию информации, необходимо отметить следующее.

Любая информационная единица  $I$ , обладающая потребительской стоимостью (качеством), характеризуется содержанием  $S$ , формой  $F$ , пространственным расположением  $L$  и временем  $T$ , т. е.  $I = \{S, F, L, T\}$ .

Каждая из этих характеристик в процессе преобразования (в информационном процессе) может изменяться. При этом различают следующие виды преобразования информации:

- содержательное (семантическая обработка, в результате которой получается новая информация);
- преобразование формы (например, кодирование, декодирование и т. п.);
- преобразование в пространстве и времени (например, передача данных и соответственно хранение).

Элементарным действием в информационном процессе считается операция преобразования информации  $I' = Q(I, C, R)$ , где  $I, I'$  – кванты информации (рис. 3.15).

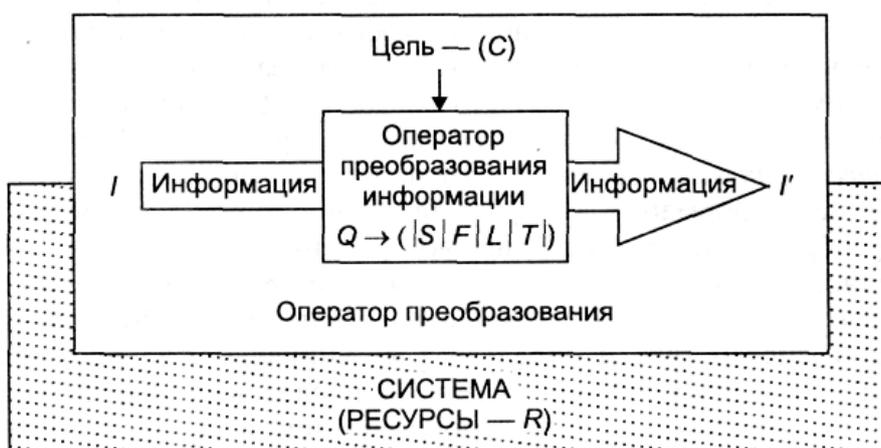


Рис. 3.15. Структура операции преобразования информации

Основные атрибуты операции – информация (объект преобразования); оператор (субъект преобразования) и цель (требования к преобразованию).

Операции по преобразованию информации могут быть разных типов  $F$ , которые определяются типом оператора  $Q \rightarrow (|S|F|L|T|)$ , сложностью  $U$ , зависящей от типа оператора, и цели преобразования  $U = \langle Y, C \rangle$ , времени  $T$  ее реализации  $T = \langle U, I \rangle$  и ресурсоемкости  $R$ .

Информационный процесс структурно можно представить множеством подпроцессов. В зависимости от того, какие виды преобразования информации доминируют (т. е. являются основными в системе достижения цели), можно выделить следующие подпроцессы:

1. Процесс формирования (подготовки) информации для преобразования. Доминирующим видом преобразования является преобразование формы  $F$ .

2. Процесс передачи информации от источника к потребителю. Очевидно, что основным видом преобразования здесь будет преобразование информации в пространстве  $L$ .

3. Процесс семантической (смысловой) обработки информации – центральный подпроцесс ИП в системе управления. В результате его осуществления появляется новая информация, на основе которой в конечном счете формируются управляющие воздействия. Именно по этому процессу можно полностью идентифицировать всю систему с управлением и именно от качества обработки информации зависит эффективность функционирования системы. Цель данного процесса – выработка адекватных управляющих воздействий оптимальным (рациональным) способом. Доминирующий вид преобразования в этом случае – преобразование содержания информации  $S$ .

4. Процесс хранения информации. Цель данного процесса – обеспечить существование информации во времени. Основной вид преобразования здесь – преобразование информации во времени  $T$ .

Очевидно, что все реальные процессы и системы, их реализующие, а следовательно, и структуры ИП уникальны. Специфика функционирования реальных систем (что и определяет их уникальность) проявляется в содержании самой информации, составе и последовательности применения конкретных операторов по ее преобразованию и целей, существовании того или иного процесса, составе и взаимосвязи подпроцессов, а также в конкретных глобальных целях функционирования системы с управлением. Представим на рис. 3.16 фрагмент структуры ИП, который обычно присущ большим системам управления.

Управленческие (информационные) процессы можно реализовать на ЭВМ, если их удастся формализовать. Под формализацией понимается точное описание изучаемого объекта. Формализация процесса управления включает выделение управленческих функций и задач, разработку алгоритмов формализации и проведение алгоритмизации. Процесс считают полностью формализованным, если алгоритмы к задачам представлены и математически переведены на машинные программы и при решении задач уже не нужно учитывать их физическое содержание. Потребность в знании физического содержания появляется лишь при использовании полученных результатов.

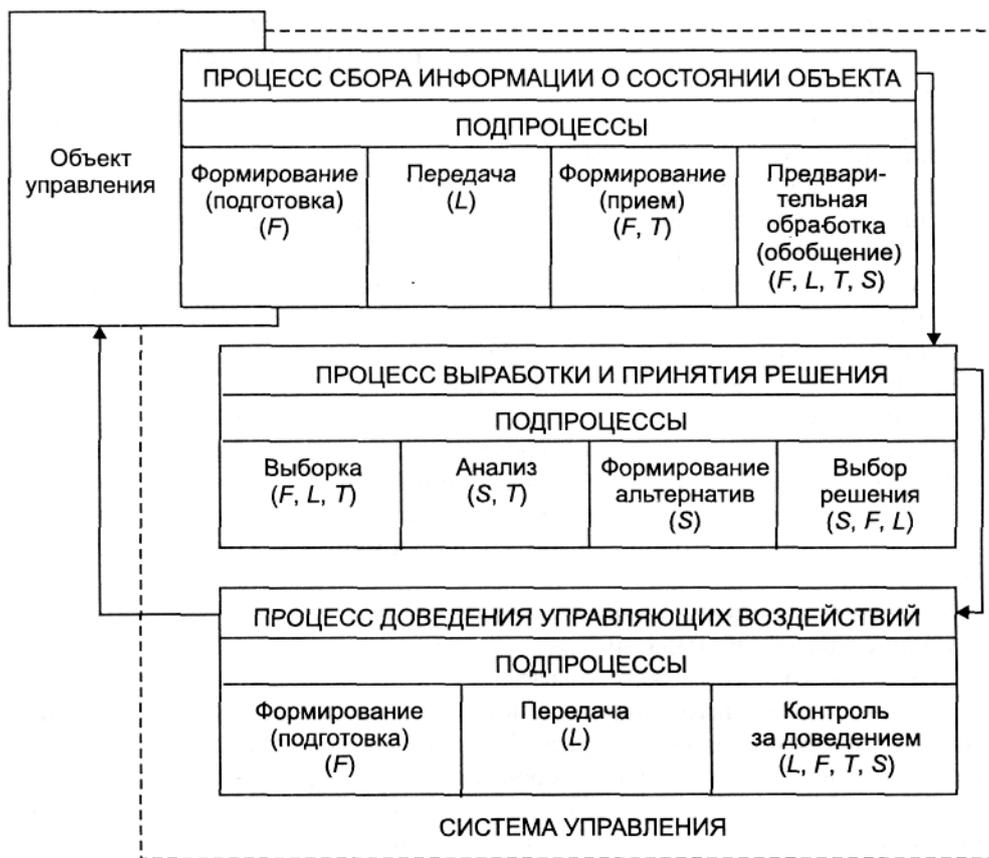


Рис. 3.16. Фрагмент структуры информационного процесса

**Информационный анализ систем управления.** Сущностью информационного анализа является определение объема и форм представления информации, методов и средств ее передачи, обработки, хранения, ввода и вывода для известной структуры и алгоритма функционирования системы управления.

Информационный анализ выполняется с целью исследования количественных и качественных характеристик информации, используемой в системе управления.

Объектами исследования называют информационные процессы, протекающие в системе управления.

Процедура информационного анализа включает:

- определение потребности в информации на каждой стадии управления;
- планирование потребностей в информации;
- определение количественных и качественных характеристик коммуникационных процессов;
- определение потребности в информации при оценке эффективности управленческих решений (воздействий).

К показателям (характеристикам) информации относятся:

- объем и скорость передачи информации;
- достоверность передаваемых сообщений;
- направление информационных потоков;
- характеристики методов обработки информации и совершаемые при этом ошибки;
- качественный состав информации;
- количество обрабатываемых или передаваемых документов;
- суммарное количество обрабатываемых или передаваемых документов и др.

На основе результатов информационного анализа вырабатываются предварительные рекомендации по разработке информационного обеспечения системы управления, включая способы передачи, обработки и представления информации, состав информации, необходимой для нормального функционирования системы, структура информационного обмена и др.

**Параметрический анализ систем управления.** Сущность параметрического анализа состоит в определении необходимой и достаточной совокупности показателей, характеризующих все исследуемые свойства системы, и формирование зависимостей, характеризующих суммарный эффект от применения системы или ее элементов.

Цель параметрического анализа – оценка эффективности системы управления на основе определения количественных значений ее показателей.

Объектами исследования параметрического анализа служат частные и обобщенные показатели системы, образующие иерархическую структуру.

С помощью показателей верхнего уровня определяют внешние свойства анализируемой (разрабатываемой) системы и оценивают ее влияние на эффективность решения задач системой более высокого уровня.

Показатели нижнего уровня – частные показатели (параметры) системы, которые характеризуют ее структуру, процессы функционирования, информационные потоки или другие свойства.

Взаимосвязи показателей эффективности, характеризующие суммарный эффект, с частными показателями (параметрами) могут быть представлены в следующем виде:

- понятие проблемы и проблемной ситуации;
- классификация проблем;
- представление проблемы как системы;
- этапы решения проблемы.

### **3.5. Синтез информационных систем. Виды синтеза систем**

В отличие от анализа заданной системы под синтезом понимается процесс создания новой системы путем определения ее рациональных или оптимальных свойств и соответствующих показателей [14].

Цели синтеза информационной системы:

- создание новой ИС на основе новых достижений науки и техники;
- совершенствование существующей информационной системы на основе выявленных недостатков, а также появления новых задач и требований.

В общем виде задачи синтеза ИС заключаются в определении структуры и параметров системы исходя из заданных требований к значениям показателей эффективности ее функционирования, а также способов обеспечения целей функционирования системы.

**Формирование замысла и цели создания информационных систем.** Замысел возникает на основании полученного задания, выделения недостатков существующей ИС, появления практической потребности или новых научных достижений.

Формирование замысла начинается с исторического анализа проблемы, практических возможностей, научного достижения, потребности, анализа сходных систем, сложившейся ситуации, чужих мнений и всех сопутствующих факторов. Это творческий этап, слабо структурированный и слабоформализуемый.

Результатами решения задачи формирования замысла и цели создания системы должны быть определение назначения ИС и цели (целевой функции).

Синтез информационной системы включает:

- постановку задач системы;
- формулирование основной идеи создания системы;
- определение направлений разработки системы.

**Формирование вариантов новой системы.** Варианты системы формируются на основе анализа общей цели создания системы, изучения общественных потребностей, предполагаемого объема удовлетворения этих потребностей, изучения состояния и перспектив развития аналогичных отечественных и зарубежных систем.

Процесс формирования каждого варианта новой системы может быть описан концептуальной и математической моделями.

Рассмотрим порядок построения концептуальной модели варианта новой ИС. При построении концептуальной модели можно выделить несколько этапов.

На первом этапе определяется уровень детализации концептуальной модели варианта системы. Модель системы представляет собой совокупность подсистем (элементов). В эту совокупность входят все подсистемы (элементы), обеспечивающие сохранение целостности системы.

Каждая подсистема состоит из совокупности элементов, которые тоже могут быть расчленены на элементы. Таким образом, проблема выбора уровня детализации может быть решена путем построения иерархической последовательности моделей, где система представляется семейством моделей, каждая из которых отражает ее поведение на различных уровнях детализации. На каждом уровне, безусловно, существуют характерные особенности системы, принципы и зависимости, определяющие ее поведение.

На втором этапе построения концептуальной модели осуществляется ее локализация (установление границ взаимодействия с внешними системами) путем представления внешней среды в виде генераторов внешних воздействий, причем эти генераторы включаются в состав системы в качестве ее элементов. Приемники воздействия системы на среду и (или) другую систему в модель обычно не включаются, полагая при этом, что результаты функционирования системы внешняя среда (другая система) принимает полностью и без задержек.

На третьем этапе завершается построение структуры модели с указанием связей между составляющими ее элементами. Связи могут быть разделены на вещественные и информационные.

Причем прежде всего следует выделить функционально необходимые внутренние связи, которые обуславливают целостность модели и обеспечивают ее адекватность системе.

Каждый формируемый вариант системы включает различные виды описаний: структурное (морфологическое), функциональное, информационное и параметрическое.

Структурное описание включает описание структуры и видов обеспечения ИС, назначения, состава и размещения ее элементов.

Функциональное описание включает решаемые системой задачи, порядок функционирования системы.

Информационное описание обеспечивает описание входной и выходной информации, потоков информации, циркулирующей в системе, способов представления и передачи.

Параметрическое описание дает перечень количественных показателей (параметров), характеризующих отдельные свойства системы, которые необходимо обеспечить в процессе ее создания.

Требования к показателям в виде различных ограничений формируются в процессе оценки эффективности каждого исследуемого варианта системы и уточняются при ее разработке.

На четвертом этапе определяются управляемые характеристики, т. е. в модель должны войти параметры (показатели) системы, допускающие варьирование своих значений в процессе моделирования, которые обеспечат нахождение интересующих разработчика моделей характеристик при конкретных внешних воздействиях на заданном временном интервале функционирования системы. Желательно, чтобы в концептуальной модели были конкретизированы все решающие правила или алгоритмы управления элементами и (или) процессами модели, которые отражают статику системы.

На пятом этапе описывается динамика системы. Полученную ранее модель необходимо дополнить описанием функционирования системы. Следует отметить, что в сложных системах зачастую протекает несколько процессов одновременно. Каждый процесс представляет собой определенную последовательность отдельных элементарных операций, часть которых может выполняться параллельно разными элементами (ресурсами) системы.

Приведение описаний варианта системы во взаимное соответствие включает:

- сопоставление описаний (структурного, функционального, информационного, параметрического);
- устранение противоречий;
- объединение названных описаний.

*Сопоставление описаний.* Выполнение требований информационного описания обеспечивается морфологически (структурно) и функционально. Сначала решается вопрос о совместимости информационного описания. Функциональное описание может быть недостаточным для охвата блоков или процессов структурного описания и тогда его нужно дополнить (в частности, путем проведения новых исследований). Все блоки структурного описания должны быть охвачены функциональным описанием, содержать способы и формулы для вычисления всех выходных и промежуточных параметров. Далее требуется выяснить, в какой мере информационное описание обеспечено функционально и морфологически.

На основании морфологического и функционального описаний вычисляются (без требования совместимости) наиболее близкие из достижимых параметров, входящих в параметрическое описание. Здесь может быть два случая:

- 1) требуемые значения параметров недостижимы;
- 2) требуемые значения параметров достижимы порознь, но несовместимы.

В первом случае необходимы выдвижение идей, перестройка морфологии или функциональных возможностей, во втором – конструктивная перестройка.

*Устранение противоречий.* Выдвижение идей или ассоциативный поиск для эффективной замены элементов морфологического описания производится на основании функциональных свойств системы. Для этого необходимо выявить коренное противоречие, препятствующее достижению положительного результата. Выявление сущности противоречия требует анализа морфологических и информационных свойств системы. Устранение противоречия путем компромисса, чтобы общее их сочетание было удовлетворительным, редко бывает перспективным.

В этом случае требуются новые идеи, т. е. включение в систему подсистем или элементов с принципиально новыми свойствами, радикальная перестройка структуры и связей, создание новых процессов и т. д. Этап является многошаговым и заканчивается новым описанием системы.

*Объединение описаний* – составление единого описания, охватывающего морфологические, функциональные, информационные свойства и параметры в полном объеме. Задача оценки эффективности вариантов и принятия решения о выборе варианта новой системы включает:

- определение значений выбранных показателей эффективности каждого исследуемого варианта создаваемой системы;

- сравнительную оценку эффективности, которая производится в соответствии с заданным правилом предпочтений и установленным критерием;

- принятие решения о выборе наилучшего варианта системы.

После выбора окончательного варианта системы уточняется критерий ее эффективности, формируется исходный вариант значений показателей системы управления и производится повторный синтез системы, который приобретает каждый раз все большую определенность.

**Разработка требований к информационным системам.** Для искусственных систем организационного или эргатического (человеко-машинного) типа четко сформулировать цель очень сложно. Цель вырабатывается в виде количественно-качественных требований к существенным свойствам системы, определяющим ситуацию или область ситуации в  $n$ -мерном пространстве, которая должна быть достигнута при функционировании системы (величина  $n$  обуславливается количеством выделенных существенных свойств объекта).

Как правило, требования задаются в виде ограничения на допустимые пределы значений показателей. Общие требования к ИС документально оформляются, а затем уточняются отдельные требования к ее элементам, включая элементы, выделяемые при морфологическом (структурном), функциональном, информационном и параметрическом описании системы.

**Разработка программ реализации требований к ИС.** Обычно программа или план реализации требований включает:

- перечень целей и задач (заданий) исполнителям (ответственным за создание ИС), развернутых во времени, взаимосвязанных по отношению к общей цели создания новой системы и сбалансированных по ресурсам и отношению к общей цели создания новой системы;

- график (порядок) обеспечения исполнителей ресурсами (информационными, материальными, энергетическими и др.).

Сбалансированность по ресурсам означает, что нет задач, не обеспеченных ресурсами, и что ограниченные ресурсы рационально распределены между всеми исполнителями.

**Реализация разработанных требований к информационной системе.** Цель задачи – реализация разработанных требований к ИС в заданные сроки в соответствии с разработанной программой. Процесс непосредственного создания новой системы управления очень сложен.

Рассмотрим условные этапы реализации разработанных требований к человеко-машинной (эргатической) системе: моделирование (математическое, физическое, сценарное) подсистем и системы в целом, макетирование, проектирование, конструирование, изготовление системы, её испытание, оценка путей модернизации, возвращение к анализу замысла создания системы и перспектив его развития в связи с созданием новой системы.

**Моделирование подсистем и системы в целом.** На этом этапе концептуальное описание системы реализуется с помощью математической модели. Целью моделирования является проверка разных аспектов функционирования системы, ее устойчивость по отношению к внешним факторам и оценка эффективности (по функциональному и физическому критерию) ее функционирования в разных условиях работы. Моделирование позволяет повысить эффективность системы (по физическому критерию) путем дополнительного изменения ее морфологии и функциональных свойств.

**Макетирование системы.** Главная задача макетирования состоит в отработке устройств, основанных на новых идеях. Различают полное и частичное макетирование. Частичное макетирование применяется в тех случаях, когда основные подсистемы ясны и требуется уточнить отдельные блоки. Полное макетирование основных и вспомогательных подсистем применяется при разработке новых систем.

**Проектирование системы.** Задача проектирования – охватить всю систему, а также средства и методы, необходимые для ее создания и обеспечения. В проекте не должно быть сомнительных вопросов: проектирование должно опираться на полную информацию и решать только инженерные (в широком смысле) задачи.

**Конструирование системы.** Конструкция определяет пространственно-временное расположение элементов системы, их сопряжение,

соединение и стыковку. Задача конструирования – разработка технологии изготовления системы либо указание на возможность использования готовой технологии. Описание конструкции должно быть развито до уровня, доступного и понятного лицам, не участвовавшим в разработке системы и не знакомым с исходными идеями.

**Изготовление системы.** Технология и практика изготовления системы накладывают свой отпечаток на элементы системы и ее свойства в целом.

Для новых систем возможны случаи, когда изготовление подсистем с требуемыми параметрами (подготовка процесса, подбор персонала, отработка слаженности групп) оказывается непосильной задачей, и тогда неизбежна соответствующая дополнительная работа (усовершенствование производства, обучение персонала, изменение условий) или возвращение к одному из исходных этапов.

**Испытание системы.** На испытаниях отрабатывается способ применения системы и повышение максимально допустимого значения ее эффективности (по физическому критерию). Испытания определяют соответствия системы своему назначению и целевой функции по функциональному критерию, который вычисляется по результатам испытаний.

Перспективы дальнейшего развития системы оцениваются на основании сопоставления физического и функционального критериев с точки зрения возможностей и путей их дальнейшего увеличения.

**Оценка путей модернизации.** Научно-технический прогресс создал новую ситуацию в мире выбора альтернатив создания новых систем, которая обусловлена следующими обстоятельствами:

- жизненный цикл созданной человеком системы (техники, оружия) стал намного меньше жизни человека;
- сокращение жизненного цикла созданной человеком системы сопровождается возрастанием полного цикла создания системы;
- наличие проблемы вложения средств и ресурсов.

Вырос масштаб создаваемых человеком систем. Некоторые из них, например, энергетические, транспортные, информационные стали глобальными. С ростом сложности и масштаба создания новой системы возросли затраты на их реализацию. Риск при выборе варианта создания новой системы становится все ощутимее.

Основой продления жизненного цикла системы можно считать ее своевременную и неоднократную модернизацию, идеи которой закладываются на этапе создания системы.

Выделение существенных свойств процессов и систем – процесс творческий, он носит неформальный характер и во многом зависит от квалификации исследователя, его опыта и интуиции. Часть свойств определяется исследователем при выработке требований, так как последние предъявляются к значениям показателей существенных свойств системы или процесса.

Значения показателей существенных свойств определяются (оцениваются), как правило, двумя способами: прямыми замерами на системе и использованием модели ее функционирования.

Важным моментом выступает формирование правил определения факта и величины несоответствия между значениями показателей существенных свойств процесса системы и требуемыми их значениями.

Сущностью структурного синтеза является разработка (создание, проектирование, совершенствование, реорганизация и организация) системы, которая должна обладать желаемыми свойствами.

Структурный синтез проводится с целью обоснования множества элементов структуры, отношений и связей между ними, характеристик элементов и связей, обеспечивающих в совокупности максимальную степень соответствия заданным требованиям.

Объектами исследования структурного синтеза можно назвать различные варианты разрабатываемых (совершенствуемых) структур информационных систем.

К основным обобщенным показателям исследуемых структур относятся:

- число управляемых объектов;
- время и достоверность доведения информации до управляемых объектов;
- вероятность реализации полного цикла управления с использованием синтезируемой структуры;
- жизнеспособность структуры;
- суммарная стоимость структуры и др.

В процессе структурного синтеза определяются множество элементов структуры, отношения и связи между ними, характеристики элементов и связей, обеспечивающие оптимальные или рациональные

значения обобщенных показателей в соответствии с выбранными критериями эффективности.

Критерий эффективности выбирается с учетом требований, предъявляемых к ИС. На выбор критерия влияют требования к точности определения показателей, степень определенности исходных данных, наличие методического аппарата.

Условия выбора характеризуют все необходимые исходные данные, которые имеет исследователь к моменту решения задачи синтеза. Исходные данные определяются на основе опыта создания и применения аналогичных структур в ходе анализа исследуемой ИС, уточняются и дополняются в процессе внедрения синтезируемой структуры. Условия выбора ограничивают число возможных вариантов синтезируемых структур и учитываются при окончательном выборе варианта создаваемой структуры информационной системы.

**Функциональный синтез информационных систем.** Функциональный синтез, так же как и анализ, осуществляется одновременно с исследованием структуры ИС. Сущность функционального синтеза заключается в обосновании динамических характеристик ИС, которые должны обладать желаемыми свойствами.

Цель функционального синтеза – обоснование оптимальных или рациональных характеристик процессов функционирования ИС, т. е. процессов изменения ее состояний с течением времени в соответствии с поставленной целью.

При постановке общей задачи функционального синтеза необходимо учитывать критерии эффективности управления.

Для получения решений, близких к оптимальным, необходимо исследовать процессы функционирования в рамках всех формируемых вариантов структур и, в свою очередь, формировать варианты структур, обеспечивающих эффективную реализацию выбранных алгоритмов.

**Информационный синтез.** Сущностью его является обоснование необходимого объема и форм представления информации, методов и средств ее передачи, обработки, хранения, ввода и вывода для разрабатываемой структуры и алгоритма функционирования информационной системы.

Информационный синтез дополняет задачи функционального синтеза и осуществляется с целью определения требуемых качествен-

ных и количественных характеристик информации, используемой в процессе функционирования информационной системы.

В ходе информационного синтеза обосновываются необходимый объем и формы представления информации, методы и средства ее передачи, обработки, хранения, ввода и вывода.

Оптимальные или рациональные характеристики информации определяются, как правило, с использованием показателей и критериев эффективности, учитывающих структурные и функциональные особенности системы. При этом к одной из основных проблем информационного синтеза можно отнести количественную оценку влияния данных характеристик на результаты функционирования ИС.

Параметрический синтез обобщает результаты вышерассмотренных видов синтеза и выполняется для оценки эффективности информационной системы на основе определения количественных значений ее показателей.

### **3.6. Основные характеристики структуры информационных систем. Синтез организационной структуры. Методы синтеза**

Структура системы отражает строение и внутреннюю форму организации, прочные и относительно устойчивые взаимоотношения элементов системы [4].

Структурные связи обладают относительной независимостью от элементов и могут выступать как инвариант при переходе от одной системы к другой, перенося закономерности, выявленные и отраженные в структуре одной из них, на другие. При этом системы могут иметь различную физическую природу [3].

Одна и та же система может быть представлена разными структурами в зависимости от стадии познания объектов или процессов, от аспекта их рассмотрения, цели создания. При этом по мере развития исследований и в процессе проектирования структура системы может изменяться. Структуры могут быть представлены в матричной форме, в форме теоретико-множественных описаний, с помощью языка топологии, алгебры и других средств моделирования систем.

Каждая ИС как большая и сложная система обладает большим числом элементов, свойств, связей между элементами, и охватить их одновременно в рамках одного понятия структуры не представляется возможным.

### 3.6.1. Основные характеристики структур информационных систем

Различают две группы характеристик структур ИС:

- 1) связанные с иерархичностью системы;
- 2) оценивающие качество функционирования ИС заданной структуры.

К первой группе относятся число уровней иерархии, число подсистем на каждом уровне иерархии, степень централизации, норма управляемости, мера равномерности связей, степень специализации подсистем, характер взаимосвязи между подсистемами и уровнями иерархии и т. д.

Ко второй группе характеристик относятся эффективность, надежность, живучесть, гибкость структуры, быстродействие, достоверность обработки данных, загрузка технических средств и узлов и т. д.

Ряд из перечисленных характеристик имеет количественную меру, другие – качественную. Число уровней иерархии и число подсистем на каждом уровне характеризуют соответственно «высоту» организационной структуры и «ширину» каждого ее уровня.

Важнейшими характеристиками организационной структуры системы выступают степень централизации и норма управляемости (размах контроля). Степень централизации служит мерой разделения полномочий между уровнями системы.

Для каждой пары смежных уровней  $(n - 1), n; n = 2, 3, \dots, N$  степень централизации вычисляется по формуле  $\alpha_n = \frac{W_n}{W_{n-1}}$ , где  $W_n, W_{n-1}$  – число задач, решаемых на уровнях.

Объем решаемых задач может быть оценен через количество перерабатываемой информации на уровне  $n$ . Тогда степень централизации всей ИС рассчитывается по выражению  $\alpha = \sum_{i=2}^N \beta_n \alpha_n$ , где  $\beta_n$  – весовые коэффициенты, учитывающие специфику системы.

Чем больше значение  $\alpha$ , тем выше степень централизации системы. Смещение основной массы решений в сторону высшего уровня иерархии отражает повышение степени централизации. Это повышение отождествляется с повышением управляемости подсистем и увеличением переработки информации на верхних уровнях. Повышение степени децентрализации соответствует увеличению самостоя-

тельности подсистемы и уменьшению информации, перерабатываемой на верхних уровнях.

Степень централизации тесно связана с нормой управляемости, характеризующей объем задач, решением которых эффективно управляет руководитель. На практике норма управляемости определяется количеством работников, подчиненных одному руководителю, и для различных уровней и подсистем ИС неодинакова.

Мера равномерности вертикальных связей характеризует степень отклонения связей в анализируемой системе по сравнению с равномерной линейной иерархической структурой. В равномерной структуре каждый элемент  $n$ -го уровня имеет одинаковое число вертикальных связей или подчиненных ему элементов  $(n - 1)$ -го уровня.

Равномерность для  $n$ -го уровня  $R_n$  определяется по формуле

$$R_n = (\prod_i a_i) / a_{\text{ср}}^k,$$

где  $a_i$  – число связей  $i$  элемента  $n$  уровня с элементами  $(n - 1)$  уровня;  $a_{\text{ср}}$  – среднее число связей;  $k$  – число элементов на  $n$  уровне.

Для многоуровневой системы мера равномерности вертикальных связей

$$R = \frac{1}{m-1} \sum_{n=2}^m R_n,$$

где  $m$  – число уровней системы.

Для равномерных вертикальных связей  $R = 1$ .

Степень специализации управляющих подсистем можно выразить отношением числа однородных задач, выполняемых подсистемой, к общему числу задач этого же типа, решаемых всей системой управления. Степень специализации  $i$ -подсистемы по управлению  $l$ -го вида оценивается как

$$\lambda_i^{(l)} = \frac{V_i^{(l)}}{\sum_i V_i^{(l)}},$$

где  $V_i^{(l)}$  – число однородных задач типа  $l$ , выполняемых подсистемой  $i = 1, 2, \dots, k$  (могут быть трудозатраты на решение).

Неравномерность функциональной специализации можно определить следующим образом. Пусть имеется  $k$  структурных элементов, которые должны выполнить  $L$  функций или управленческих задач. Для

выполнения  $l$ -й функции ( $l = 1, 2, \dots, L$ ) исходя из ее трудоемкости или других соображений назначается  $k_l$  элементов, причем  $\sum k_l = k$  и  $k_l > 0$ .

При ограниченном числе структурных элементов, осуществляющих каждую функцию, число возможных вариантов распределения  $k$  элементов по  $L$  функциям может быть рассчитано по формуле

$$D = \frac{k!}{k_1! \cdot k_2! \cdot \dots \cdot k_L!}.$$

При большом  $k$  приведенную формулу можно аппроксимировать зависимостью

$$D = -\sum_{l=1}^L \frac{k_l}{k} \ln \frac{k_l}{k}.$$

Значение  $D$  максимально в случае равномерной специализации, когда каждую функцию выполняет одинаковое число структурных элементов, т. е.  $k_1 = k_2 = \dots = k_L = k/L$ ; при этом  $D_{\max} = \ln L$ .

Неравномерность функциональной специализации  $F$  можно характеризовать отношением числа возможных вариантов распределения структурных элементов по функциям управления в исследуемой структуре (для принятых значений  $k_l$ ) к  $D_{\max}$

$$F = \frac{D}{D_{\max}} = -\frac{1}{\ln L} \sum_{l=1}^L \frac{k_l}{k} \ln \frac{k_l}{k}.$$

Эффективность ИС во многом зависит от степени совершенства ее организации и функциональной структуры. Тогда можно говорить о некоторой эффективности структуры, обеспечивающей максимальную эффективность системы в целом. Однако связь между структурой и эффективностью системы управления чрезвычайно трудно выявить и тем более формализовать.

При синтезе структур оптимизируется одна или несколько характеристик. В качестве критериев оптимизации принимаются минимизация затрат на создание системы, максимизация общей эффективности системы, минимизация трудоемкости управления и т. д.

### 3.6.2. Синтез организационной структуры информационных систем

**Методы синтеза.** Различают эвристические и формализованные методы синтеза оргструктур. К эвристическим методам синтеза относятся методы аналогий, экспертных оценок, организационное моделирование и др. Эвристические методы базируются на опыте и инту-

иции проектировщика. Анализируя функции и структуры лучших отечественных и зарубежных аналогичных систем управления, выявляют прогрессивные решения и образцы. Их используют в синтезируемых структурах.

Организационное моделирование заключается в разработке графических и макетно-стендовых схем, схем информационных потоков, матриц распределения ответственности, обобщенных структурно-информационно-временных схем, позволяющих обобщить и наглядно представить собранную информацию о функционировании системы управления. Использование организационного моделирования позволяет установить специализацию подразделений и должностных лиц по каждой функции и отдельным задачам, соподчиненность структурных элементов информационных систем и связи между ними, упорядочить информационные потоки, устранить дублирование, выявить «узкие» места и т. д.

Формализованные методы синтеза структур базируются на математических моделях и методах, используют количественные зависимости между параметрами структуры и характеристиками системы.

При построении формализованных моделей синтеза структуры ИС широко используются статистические методы, методы математического программирования, теория массового обслуживания, теория графов, имитационное моделирование и др.

Остановимся подробнее на формализованных методах синтеза.

На практике для синтеза организационной структуры получили распространение следующие методы:

- нормативный;
- использование графовых моделей;
- метод центральной планирующей организации;
- методы теории массового обслуживания и др.

*Нормативный метод синтеза организационных структур* основан на выявлении статистических зависимостей между параметрами характеристик структуры и факторами, влияющими на эти характеристики.

Статистические зависимости устанавливаются в результате исследования однородной группы лучших информационных систем: собираются данные о численных значениях структурных параметров и

факторов; с помощью корреляционного анализа выявляется степень влияния каждого фактора на структурные параметры и отбираются наиболее существенные факторы; выводятся нормативные формулы для расчета параметров структуры. Для данной группы ИС полученные зависимости считаются наилучшими, их используют при проектировании организационных структур информационных систем аналогичного типа.

*Синтез организационной структуры на графовых моделях.* Рассмотрим особенности использования графовых моделей для синтеза организационной структуры ИС [17]. Организационную структуру системы удобно представить в виде графа  $G(E, V)$ , где  $E$  – множество вершин, представляющих собой элементы структуры;  $V$  – множество дуг, указывающих связи между элементами.

Графовые модели могут обладать различной информативностью. На этих моделях в простых случаях можно ограничиться указанием структурных подразделений и связей между ними. На графовых моделях можно указать более подробную информацию. Так, например, вершинам можно приписывать веса, указывающие численность подразделений, а дугам – мощность, характеризующую количество передаваемой информации.

Синтез организационной структуры на графовых моделях основан на принципе агрегирования, т. е. объединения в одну подсистему наиболее близких задач или в один управляющий узел наиболее тесно взаимодействующих подразделений и исполнителей. Этот принцип базируется на интуитивно ясном и проверенном на практике соображении. При таком объединении уменьшаются объем циркулирующей информации между подразделениями, время, затрачиваемое на передачу информации и согласование плановых решений, дублирование функций и т. д., хотя в явном виде все эти характеристики не учитываются.

Задача синтеза организационной структуры в терминах теории графов формулируется как разбиение графа  $G$  на подграфы  $G_1, G_2, \dots, G_N$ . При этом каждый из графов  $G_i \in G, i = 1, 2, \dots, N$ , подграфы не должны пересекаться  $G_i \cap G_j = 0$ , для  $i, j = 1, 2, \dots, i \neq j$  объединение должно дать исходный граф  $\bigcup_i G_i = G$ .

Полученное разбиение должно минимизировать функцию  $\sum_{i=1}^N C_i(G_i) \rightarrow \min$ , где  $C_i(G_i)$  – некоторая функция, определенная на множестве разбиений  $G_i, i = 1, 2, \dots, N$ .

В зависимости от вида целевой функции графовые задачи синтеза организационной структуры формализуются следующим образом:

1. Найти разбиение графа  $G(E, V)$  на подграфы  $G_1, G_2, \dots, G_N$  при  $r(E_i) \leq r$ , которое минимизирует некоторую функцию от величины внешних связей между подграфами (например, сумму внешних связей, величину связей между отдельными подграфами и т. д.). Ограничение  $r(E_i) \leq r$  может означать, например, допустимое количество вершин (сотрудников) в подграфе (в подразделении).

2. Найти разбиение графа  $G(E, V)$  на сильно связанные подграфы, т. е. на подграфы, у которых связи между элементами внутри подграфа больше, чем с другими элементами графа  $G_1, G_2, \dots, G_N$ .

3. Найти разбиение графа  $G(E, V)$ , чтобы  $a(U) = 0,5 \sum c(E_i) \rightarrow \min$  при  $\max l(E_i) \leq a(U)$ , где  $a(U)$  – суммарная внешняя связанность подграфов минимизируется, максимальная внутренняя связь подграфа не должна превышать суммарной внешней связи;  $c(E_i)$  – число связей всех вершин  $E_i$  с другими вершинами  $V \setminus V_i$ ;  $l(E_i)$  – число связей вершин графа  $G_i$  между собой.

4. Найти разбиение графа  $G(E, V)$  на  $N$  непересекающихся подмножеств  $\bigcup_i G_i = G, G_s \cap G_t = \emptyset$  для  $s, t = 1, 2, \dots, N, s \neq t$  таким образом, чтобы

$\sum_{s,t=1}^N \sum_{i,j=1}^k d_{ij} x_{is} x_{jt} \rightarrow \min$ , где  $d_{ij}$  – показатель степени связи

между вершинами графа  $G$ ;  $x_{is} = \begin{cases} 1 & \text{– если } E_i \in G_s \\ 0 & \text{– в противном случае} \end{cases}$ .

*Синтез организационной структуры методом центральной планирующей организации.* В основу метода положен принцип максимальной связности задач, решаемых в каждом подразделении [18]. Задача синтеза формализуется аналогично предыдущей задаче, но для получения многоуровневой структуры поиск автономных подсистем ведется не только по горизонтали (в пределах одного иерархического уровня), но и вертикали.

Вначале по заданному ограничению  $\max b(E_i) \leq B$  для графа  $G(E, V)$  решается задача поиска оптимального разбиения  $u_1$  для нижнего иерархического уровня с целевой функцией  $a(E_i) \rightarrow \min$ ; из графа  $G$  выделяется подграф первого уровня по критерию минимума внешних связей и ограничению числа внутренних связей  $B$ . Для графа  $G \setminus G_1 = G_{u1}$  решение повторяется, пока число внутренних связей не будет превышать  $B$ .

Затем та же задача решается вновь, но уже для графа  $G_{u1}$ , что позволяет найти такое разбиение  $u_2$  для второго уровня, у которого  $a(u_2) \rightarrow \min$ . И так до тех пор, пока на некотором уровне  $\beta$  значение  $\min a(u_\beta)$  не будет превосходить константу  $B$ . Тем самым проблема синтеза структуры сводится к определению частных (субоптимальных) разбиений  $u_1, u_2, \dots, u_\beta$ .

*Использование методов теории массового обслуживания для синтеза организационной структуры.* При оптимизации структуры иерархической системы оперативного управления каждый из узлов системы рассматривается как система массового обслуживания, имеющая  $m$  входов (входящих потоков требований на обслуживание) и  $l$  выходов [17].

На вход любого узла системы в некоторые случайные моменты времени в соответствии с заданным законом распределения поступает  $m$  потоков. Потоки могут быть либо неограниченными, либо состоять из конечного числа требований. Выходящий поток образуется из последовательности обслуженных требований различных входящих потоков и из требований, покидающих систему или очередь до окончания обслуживания.

Оптимизация проводится для однородных иерархических структур, т. е. характеристики узлов одной ступени одинаковы, и к каждому узлу подключено одинаковое для данной ступени число узлов предыдущей. В качестве общего критерия функционирования системы, характеризующего суммарные потери, принимается

$$W(m) = n_{m-1}W(m-1) + W_m$$

$$\text{или } W(m) = \sum_{i=1}^m W_i \prod_{j=i}^m n_j,$$

где  $W(m)$  – величина критерия для  $m$ -ступенчатой системы;  $W(m-1)$  – соответствующие потери для составляющих ее подсистем  $(m-1)$ -го

порядка (всего таких подсистем  $nm - 1$ );  $W_m$  – потери в системе обслуживания последней ступени;  $W_i$  – потери в системе обслуживания одного узла  $i$ -й ступени;  $n_j$  – число узлов  $j$ -й ступени, подключаемых к одному узлу  $(j + 1)$ -й ступени.

Оптимизация заключается в нахождении таких значений  $n_i^*$ ,  $i = 1, 2, \dots, (m - 1)$ ,  $nm = 1$ , при которых  $W(m)$  минимально; где  $m$  – число ступеней.

В критерии первая формула выражает суммарные потери через потери в однородных подсистемах, их число  $nm - 1$ , потери в каждой подсистеме  $W(m - 1)$ . Во второй формуле потери вычисляются через потери в узлах  $W_i$ , количество узлов  $n_j$ , подключаемых к одному узлу  $(j + 1)$ -й ступени.

### **3.7. Синтез функциональной структуры информационной системы. Синтез иерархической структуры комплекса технических средств информационной системы**

Синтез функциональной структуры ИС включает в себя распределение решаемых задач по подсистемам и уровням организационной структуры. Один из наиболее распространенных количественных критериев объединения в подсистемы решаемых организацией задач связан с понятием «близости» решаемых задач и выполняемых операций. Близость может выражаться в том, что решение одной из них невозможно без решения другой. Задачи могут считаться близкими вследствие принадлежности к одной и той же теме или в связи с использованием при выполнении одних и тех же ресурсов. Близость может оцениваться также по величине потока информации, которой обмениваются подразделения, или по степени изменения взаимосвязей по времени.

Объединение в одну подсистему наиболее близких задач облегчает управление ходом решения задач внутри самих подсистем и координацию деятельности подсистем в целом. Если в подсистему объединяются наиболее связанные задачи, то объем информации, которой обмениваются подсистемы, значительно сокращается. Благодаря этому уменьшается время, затрачиваемое на обмен информацией, упрощается координация деятельности подсистем.

При анализе процессов управления в организации важно понятие элементарной операции. В зависимости от уровня рассматривания элементарными операциями могут быть в ИС операции производства, сбыта, финансирования, обработки информации, принятия решений и т. п.

Элементарные операции связаны между собой. Связь операций удобно представить графом  $\Gamma^1(E, H^1)$  без петель, множество вершин которого соответствует операциям  $e_1, e_2, \dots, e_n$ , а каждая дуга  $h_{ij} \rightarrow H^1$  указывает на то, что выход операции  $e_i$  является входом операции  $e_j$ . Как правило, преобразование (элементарная операция) связано с затратами ресурсов (вычислительных ресурсов, денежных средств, сырья и т. п.). Тогда кроме логических связей между операциями  $e_i$  необходимо учесть связи, обусловленные наличием ограничений типа

$$\varphi_k(f_i(e_i)) \leq u_k; e_i \subset E_k; k = 1, 2, \dots, m,$$

где  $u_k$  – количество ресурсов  $k$ -го типа;  $E_k \subset E$  – подмножество операций, занятых выполнением  $k$ -й функции или потребляющих ресурсы  $k$ -го типа;  $\varphi_k$  – функция затрат  $k$ -го вида ресурса.

Эти связи можно изобразить графически, построив ресурсный граф  $\Gamma^2 = (E \cup V, H^2)$ , в котором множество вершин  $V = V_1, V_2, \dots, V_m$  представляет собой источники ресурсов (могут быть фиктивными). Каждая дуга  $h_{kj}^2$  показывает, что для операции  $e_j$  требуются ресурсы  $k$ -го типа  $V_k$ .

Чтобы получить полную картину взаимосвязи операций, необходимо построить объединенный граф  $\Gamma = \Gamma^1 \cup \Gamma^2 = (E \cup V, H^1 \cup H^2)$ , полученный из графа  $\Gamma^1$  добавлением ресурсных вершин и дуг графа  $\Gamma^2$ , который назовем графом взаимосвязей операций. Задача синтеза функциональной структуры состоит в разбиении множества операций  $E$  на  $N$  независимых подмножеств  $E_1, E_2, \dots, E_N$ , где  $E_i \in E$  и  $E_i \cap E_j = \emptyset$

для  $i, j = 1, 2, \dots, N, i \neq j$  и  $\bigcup_{i=1}^{i=N} E_i = E$ .

Задача состоит в том, чтобы получить разбиение, которое минимизирует функцию  $\sum_{i=1}^N C(E_i) \rightarrow \min$ , где  $C(E_i)$  – функция, определенная на множестве разбиений  $E_i, i = 1, 2, \dots, N$ .

Задача синтеза структуры системы состоит в разбиении  $E$  на подмножества  $E_1, E_2, \dots, E_N$  при различных критериях разбиения системы на подсистемы. При этом близость операции  $e_i$  к  $e_j$  будем ха-

характеризовать величиной  $m_{ij}$ , где  $m_{ij}$  – значение потока по дуге  $h_{ij}$  графа  $\Gamma$ , измеряемое объемом информации или количеством связей.

Можно выделить два принципа декомпозиции: разложение переменных, разложение ограничений.

Если дуга  $(e_i, V_k)$  разрывается и  $e_i \subset E_i, V_k \subset E_k, E_i \cap E_k = \emptyset$ , то в первом случае (разложение переменных) вместо вершины  $e_i$  вводятся две несвязанные между собой вершины  $e_i'$  и  $e_i''$ .

При этом вершина  $e_i'$  остается связанной только с вершинами первой подсистемы, а вершина  $e_i''$  – с вершинами второй подсистемы. Это преобразование соответствует тому, что в целевой функции и ограничениях первой подсистемы  $x_i$  заменяется на  $x_i'$  а во второй на  $x_i''$ . Благодаря этому модели подсистем становятся формально независимыми и необходимым (а иногда достаточным) условием согласования является выполнение равенства  $x_i' + x_i'' = x_i$ .

Разложение систем на несколько относительно автономных подсистем приводит к необходимости создания высшего координирующего органа. Формальными способами воздействия координирующего органа могут служить плата за взаимодействие, фиксирование взаимодействий, оценки и предсказания взаимодействий.

В методе разложения ограничений вместо вершины  $V_k$  вводятся две вершины:  $V_k'$  и  $V_k''$ , первая из которых связана только с первой подсистемой, а вторая – только со второй. Это соответствует тому, что вместо одного ограничения  $\varphi_{k1}(x_i) + \varphi_{k2}(x_i) \leq U_k$  на ресурсы типа  $k$  вводят два несвязанных ограничения  $\varphi_{k1}(x_i) \leq U_k'$  и  $\varphi_{k2}(x_i) \leq U_k''$ , где  $U_k, U_k', U_k''$  – количество ресурсов соответственно  $V_k, V_k'$  и  $V_k''$ . Здесь необходимо выполнение условия  $U_k = U_k' + U_k''$ .

Формальным способом воздействия координирующего органа на подсистемы в этом случае может служить распределение ресурсов и плата за них.

Таким образом, после решения задачи разбиения системы на подсистемы с помощью двух рассмотренных принципов декомпозиции проводятся разрыв связей и выбор способов координации.

Не уменьшая общности дальнейших рассуждений, рассмотрим матричную модель системы, полученную из  $\Gamma^2$  и описываемую системой линейных ограничений  $Ax \leq u; x \geq 0$ , где  $A$  – матрица;  $x$  и  $u$  – векторы-столбцы с критерием

$$cx \rightarrow \max, \quad (3.1)$$

здесь  $c$  – вектор-строка.

Рассмотрим квазиблочную матрицу

$$\begin{vmatrix} A_1 A_i & & \\ a_{ki} A_k & & \\ A_2 & & \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x_1 \\ x_i \\ x_2 \end{vmatrix} \leq \begin{vmatrix} u_1 \\ u_k \\ u_2 \end{vmatrix}, \quad (3.2)$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – подматрицы матрицы  $A$ ;  $x_1, x_2, u_1, u_2$  – вектор-столбцы;  $A_k$  – вектор-строка.

Для того чтобы матрица  $A$  распалась на две независимые подматрицы (подсистемы), можно воспользоваться одним из методов декомпозиции, рассмотренных выше. Если целесообразно объединить подразделение минимизируемой структуры в соответствии с типом используемых им ресурсов (т. е. по функциональному признаку), то применяется разложение переменных  $x_i$  на  $x_i''$  и  $x_i'$ . Получаются две независимые подсистемы: первая оптимизирует  $x_1$  и  $x_i'$  при ограничениях

$$\begin{vmatrix} A_1 A_i \\ 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x_1 \\ x_i' \end{vmatrix} \leq u_1, \text{ вторая – } x_2 \text{ и } x_i'' \text{ при ограничениях } \begin{vmatrix} a_k A_k \\ 0 A_2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x_i'' \\ x_2 \end{vmatrix} \leq \begin{vmatrix} u_k \\ u_2 \end{vmatrix}.$$

Координирующий орган воздействует на подсистемы таким образом, чтобы  $x_i' + x_i'' = x_i$ .

В общем случае производится разложение графа  $\Gamma$  по переменным  $u_1$  и  $u_2$ .

Возможно другое разделение матрицы, при котором подразделения объединяют в соответствии с содержанием работ (по тематическому признаку). В этом случае образуются независимые подсистемы: первая оптимизирует  $x_1, x_i$  при ограничениях

$$\begin{vmatrix} A_1 A_i \\ 0 \ a_{ki} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x_1 \\ x_i \end{vmatrix} \leq \begin{vmatrix} u_1 \\ u_k' \end{vmatrix}.$$

Вторая –  $x_2$  при ограничениях

$$\begin{vmatrix} A_k \\ A_2 \end{vmatrix} x_2 \leq \begin{vmatrix} u_k'' \\ u_2 \end{vmatrix}.$$

Координирующий орган регулирует значения  $u_k', u_k''$  таким образом, чтобы решения, полученные подсистемами, были оптимальны для организации в целом, и выполнялось условие  $u_k' + u_k'' = u_k$ .

В общем случае проводится разложение графа  $\Gamma$  по ресурсным вершинам.

Иллюстрацией модели системы (3.1), (3.2) может служить управляющий орган, выполняющий функцию планирования, формализуемую в виде задачи линейного программирования, имеющую матрицу условий рассматриваемого вида, например, задач планирования выпуска продукции предприятием. При этом обозначения интерпретируются следующим образом: вектор  $x$  – выпуск продукции ( $x_i$  – выпуск продукции  $i$ -го вида);  $A$  – матрица затрат сырья ( $a_{ki}$  – затраты сырья  $k$ -го вида на выпуск единицы продукции  $i$ -го вида);  $c$  – вектор стоимостей или прибыли;  $u$  – вектор наличия сырья.

Особенность матрицы (два блока с зацеплением по  $i$ -му виду продукции) позволяет провести декомпозицию задачи на две задачи линейного программирования, которые соответствуют двум элементам организационной структуры (плановые отделы) по двум группам продукции и координирующего органа. После разбиения множества функций ИС на подсистемы и задачи возникает необходимость распределения задач по узлам и уровням организационной структуры информационной системы.

**Синтез иерархической структуры комплекса технических средств информационной системы.** Рассмотрим модель оптимизации иерархической структуры комплекса технических средств.

Задана трехуровневая вычислительная сеть, приведенная на рис. 3.17. Известно множество абонентских пунктов (АП)  $M = \{M_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  и множество пунктов размещения локальных серверов (ЛС)  $N = \{N_j\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , причем  $N \subset M$ .

Для каждого ЛС задано конечное множество вариантов  $r = 1, 2, \dots, l$ , учитывающих тип ЭВМ. В каждом пункте может быть размещено не более одного локального сервера, т. е.

$$\sum_{r=1}^l y_{jr} = 1,$$

где  $y_{jr} = \begin{cases} 1, & \text{если в пункте } j^* \text{ организуется СС } r\text{-го варианта} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$ .

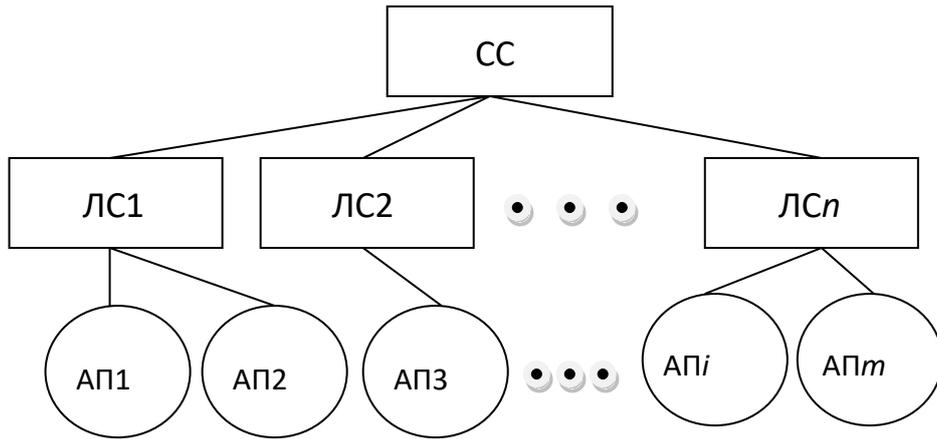


Рис. 3.17. Структурная схема комплекса технических средств вычислительной сети

Для структуры комплекса технических средств с одним сетевым сервером (СС) справедливо ограничение

$$\sum_{j^*=1}^n \sum_{r=1}^l y_{j^*r}^0 = 1,$$

где  $y_{j^*r}^0 = \begin{cases} 1, & \text{если в пункте } j^* \text{ организуется СС } r\text{-го варианта} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$ .

Пусть общее количество локальных серверов не должно превышать заданного числа  $p$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^l y_{jr} \leq p.$$

Ограничение в структуре заключается в том, что каждый абонент может подключаться только к одному локальному серверу

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} = 1,$$

где  $z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й абонент подключен к } j\text{-му ЛС} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}, i = 1, 2, \dots, m.$

Каждый из абонентских пунктов характеризуется требуемой пропускной способностью  $v_{ij}$  сигнала передачи информации между  $i$ -м абонентом и  $j$ -м локальным сервером. Допустим, что  $j$ -й ЛС, выполненный в  $r$ -м варианте, характеризуется эквивалентной вычислительной мощностью  $w_{jr}$  (размерность совпадает с  $v_{ij}$ ).

Требуемые ресурсы  $j$ -го локального сервера на обработку информации  $w_{jr}$  пропорциональны сумме требуемых пропускных способностей каналов передачи информации, соединяющих данный ЛС с абонентскими пунктами. Тогда суммарная мощность всех ЛС должна быть не менее

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq \sum_{r=1}^l w_{jr} y_{jr} \quad (j \in N),$$

где  $x_{ij} = \begin{cases} v_{ij}, & \text{если } i\text{-й АП соединен с } J\text{-м ЛС} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$ .

Информация на сетевой сервер поступает от локального сервера по каналам передачи информации с требуемой пропускной способностью  $v_{ij^*}$ . Требуемые ресурсы сетевого сервера на обработку информации пропорциональны сумме требуемых пропускных способностей каналов передачи информации, соединяющих локальный сервер с сетевым. Тогда необходимая мощность СС  $w^0$ , который может быть размещен в одном из  $n$  пунктов возможного размещения СС, должна быть не менее

$$\sum_{j=1}^n \sum_{j^*=1}^n x_{jj^*} \leq \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^l w_{jr}^0 y_{j^*r}^0,$$

где  $x_{jj^*} = \begin{cases} v_{jj^*} & \text{если СС размещен в } J\text{-м месте} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$ .

Задача синтеза состоит в распределении абонентов между локальными серверами, в определении числа ЛС, пунктов размещения и выбора варианта укомплектования каждого вычислительного центра по минимуму критерия

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (C_{ij} + S_{ij}) x_{ij} + \sum_{j=1}^n \sum_{j^*=1}^n (C_{jj^*} + S_{jj^*}) x_{jj^*} + \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^l C_{jr} y_{jr} + \sum_{j^*=1}^n \sum_{r=1}^l C_{j^*r}^0 y_{j^*r}^0 \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

где  $C_{ij}$  – приведенные затраты на обмен информацией между  $i$ -м абонентским пунктом и  $j$ -м локальным сервером;  $C_{jj^*}$  – приведенные затраты на обмен информацией между  $i$ -м локальным сервером и сетевым сервером, расположенным по  $j^*$  адресу;  $S_{ij}$ ,  $S_{ij^*}$  – приведенные затраты на обработку информации соответственно в локальном и сетевом сер-

верах;  $C_{jr}$ ,  $C_{j^*r}^0$  – капитальные затраты на реализацию  $r$ -го варианта соответственно локального сервера в  $j$ -м, а сетевого сервера в  $j^*$  пунктах.

Первое слагаемое критерия (3.3) отражает затраты на обработку и обмен информации в локальных серверах, размещенных по  $j$ -м адресам, к которым подключены абонентские пункты, размещенные по  $i$ -м адресам.

Второе слагаемое критерия отражает затраты на обработку и обмен информации в сетевом сервере, размещенном по  $j^*$  адресу, к которому подключены локальные серверы, размещенные по  $j$ -м адресам.

Третье и четвертое слагаемые представляют собой капитальные затраты на реализацию  $r$ -го варианта локальных серверов в пунктах  $j$  и сетевого сервера в пункте  $j^*$ .

Синтез иерархической структуры комплекса технических средств относится к числу задач целочисленного программирования с булевыми переменными  $y_{jr}$ ,  $y_{j^*r}$ ,  $z_{jr}$ .  $x_{ij} = v_{ij}z_{ij}$ .

Для решения задачи можно использовать комбинаторные алгоритмы (аддитивный алгоритм Балаша) и др.

### Контрольные задания

1. Основные черты системного подхода. Системные задачи.
2. Сущность системного подхода. Особенности реализации системного подхода.
3. Практическая задача системного подхода в исследовании систем управления.
4. Методы моделирования в исследованиях систем. Основные методы моделирования.
5. Основные приемы и методы формализации предметной области исследований.
6. Принципы построения моделей. Подходы к построению моделей.
7. Этапы построения математических моделей, их содержание.
8. Неформальные и формальные методы системного анализа.
9. Алгоритм проведения системно-кибернетического исследования.
10. Степень формализации моделей. Выбор формальных средств.

11. Факторы, оказывающие влияние на выбор адекватной степени детализации модели.
12. Вербальные или понятийные модели, назначение.
13. Вербальная модель архитектуры предприятия и информационной системы.
14. Логико-лингвистические и семиотические модели. Модель преобразования данных в ЭВМ.
15. Статистические, теоретико-вероятностные модели, их особенности.
16. Аналитические модели. Модель организации обслуживания вычислительных задач.
17. Имитационное моделирование. Модель расчета характеристик надежности информационных систем.
18. Структурный анализ информационных систем управления. Структурные характеристики процесса управления.
19. Сущность функционального анализа систем управления. Этапы функционального анализа.
20. Объекты информационного анализа систем управления. Классификация и характеристика информационных процессов.
21. Структура информационного процесса в системах управления.
22. Анализ информационных систем. Цели и задачи анализа.
23. Структурирование системы. Цель структурирования. Задачи анализа структуры.
24. Определение функциональных особенностей системы. Исследование информационных характеристик системы.
25. Оценка эффективности системы. Обобщение и оформление результатов анализа.
26. Структурный и функциональный анализы систем управления.
27. Информационный анализ систем управления. Объекты информационного анализа.
28. Структура информационного процесса. Виды преобразования информации.
29. Параметрический анализ систем управления. Сущность параметрического анализа.

30. Синтез информационных систем. Цели синтеза и его содержание.

31. Порядок построения концептуальной модели варианта новой информационной системы.

32. Разработка требований к ИС: программ реализации, реализация разработанных требований.

33. Сущность структурного, функционального, информационного и параметрического синтеза информационных систем.

34. Основные характеристики структур ИС, связанные с иерархичностью системы.

35. Формализованные методы синтеза организационных структур ИС, их особенности.

36. Синтез организационной структуры на графовых моделях. Критерии синтеза.

37. Синтез функциональной структуры ИС на графовых моделях.

38. Синтез иерархической структуры комплекса технических средств информационной системы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очевидно, невозможно описать в рамках одного учебного пособия известные модели и методы системного анализа и синтеза, методы моделирования, позволяющие полно представить теорию информационных процессов и систем. Авторы учебного пособия сделали попытку осветить наиболее принципиальные теоретические аспекты определения систем, структуры и классификации информационных систем и технологий, реализуемые в ИС, методы описания, основы анализа и синтеза информационных систем.

Рассмотренные основные понятия теории систем отражают перенос их на область информационных процессов и систем.

Математические методы описания информационных систем позволяют понять общие принципы формализации процессов в информационных системах, физические особенности и условия протекания информационных процессов с целью выбора математического аппарата для их формализации и последующего исследования.

Методы анализа и синтеза информационных систем и процессов рассмотрены на примере информационно-управляющих систем в зависимости от условий, в которых проводится оценка, с учетом различных факторов, влияющих на условия.

Примеры моделирования и анализа информационных систем дают возможность разобраться в особенностях подходов к системному анализу в области теории информационных процессов и систем.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеева, М. Б. Основы теории систем и системного анализа : учеб. пособие / М. Б. Алексеева, С. Н. Балан. – СПб. : СПбГИЭУ, 2002. – 88 с. – ISBN 5-88996-229-X.
2. Прангишвили, И. В. Системный подход и общесистемные закономерности / И. В. Прангишвили. – М. : СИНТЕГ, 2000. – 528 с. (Серия «Системы и проблемы управления»). – ISBN 5-89638-042-9.
3. Системный анализ и принятие решений : словарь справочник / под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – М. : Высш. шк., 2004. – 616 с. – ISBN 5-06-004875-6.
4. Макаров, Р. И. Методология проектирования информационных систем : учеб. пособие / Р. И. Макаров, Е. Р. Хорошева ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2008. – 334 с. – ISBN 978-5-89368-817-7.
5. Методы и модели информационного менеджмента : учеб. пособие / Д. В. Александров [и др.] ; под ред. А. В. Кострова. – М. : Финансы и статистика, 2007. – 336 с. – ISBN 978-5-279-03067-5.
6. Калашян, А. Н. Структурные модели бизнеса: DFD-технологии / А. Н. Калашян, Г. Н. Калянов ; под ред. Г. Н. Калянова. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 256 с. – ISBN 5-279-02562-3.
7. Управление качеством листового стекла (флоат-способ) : учеб. пособие / Р. И. Макаров [и др.]. – М. : Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2004. – 152 с. – ISBN 5-93093-262-1.
8. Методология IDEF1X. Информационное моделирование. – М. : Метатехнология, 1993. – 120 с.
9. Чен, П. Модель «сущность – связь» – шаг к единому представлению данных / П. Чен // СУБД. – 1995. – № 3. – С. 137 – 159.
10. Котов, В. Е. Сети Петри / В. Е. Котов. – М. : Наука, 1984. – 160 с.
11. Design/IDEF Version 3.0 User's manual. Meta Software Corp. 1994. – 660 pp. [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfiles.net/preview/2969267/> (дата обращения: 21.08.2017).
12. Теория систем и системный анализ в управлении организациями : справочник / под ред. В. Н. Волковой и А. А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика : ИНФРА-М, 2009. – 846 с. – ISBN 978-5-279-02933-4.

13. Информационные технологии в управлении качеством автомобильного стекла : учеб. пособие / Р. И. Макаров [и др.] ; Владим. гос. ун-т. им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2010. – 275 с. – ISBN 978-5-9984-0038-4.

14. Малинин, А. С. Исследование систем управления : учеб. для вузов / А. С. Малинин, В. И. Мухин. – М. : МГУ, 2002. – 329 с. – ISBN 5-7598-0192-9.

15. Коротков, Э. М. Исследование систем управления / Э. М. Коротков. – М. : ДеКа, 2004. – 336 с. – ISBN 5-89645-035-4.

16. Курносов, Ю. В. Аналитика: методология, технология и организация информационно-аналитической работы / Ю. В. Курносов, П. Ю. Конотопов. – М. : Русаки, 2004. – 550 с. – ISBN 5-93347-151-8.

17. Нетесова, О. А. Методы оценки эффективности автоматизированных информационных систем / О. А. Нетесова. – Вологда : Вологод. гос. молочно-хозяйств. акад., 2004. – 116 с.

18. Мамиконов, А. Г. Основы построения АСУ : учеб. для вузов / А. Г. Мамиконов. – М. : Высш. шк., 1981. – 248 с.

*Учебное издание*

МАКАРОВ Руслан Ильич  
ХОРОШЕВА Елена Руслановна

ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

Учебное пособие

Редактор А. П. Володина  
Технический редактор А. В. Родина  
Корректор О. В. Балашова  
Компьютерная верстка Л. В. Макаровой  
Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Подписано в печать 14.09.18.  
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 10,23. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.