

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Минцаев Магомед Шавалович

Должность: Ректор

Дата подписания: 12.10.2023 15:32:09

Уникальный программный ключ:

236bcc35c296f119d6aafdc22846a2c051dbcc0111a86243e582591e4304dc

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ**

**ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**имени академика М.Д. Миллионщикова**

Кафедра «Информационные технологии»

**Бетербиева А.И.**

**Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине**

**«Анализ и синтез информационных систем»**

для студентов, обучающихся по направлению подготовки

09.03.02 «Информационные системы и технологии»

Магистр

Грозный 2023

**Составители:**

Бетербиева А.И., ассистент кафедры «Информационные технологии»

**Рецензент:**

Методические указания предназначены для бакалавров по направлению подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии института прикладных информационных технологий.

Методические рекомендации рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Информационные технологии»

Протокол № \_ от \_\_\_\_\_ г

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ГГНТУ.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», 2023

## Содержание

<b>Введение</b> .....	4
Лабораторная работа №1. Сравнительный анализ «информационных систем».....	5
Лабораторная работа №2. Описание системы как «Черного ящика». Декомпозиция систем .....	15
Лабораторная работа №3. Функциональный анализ информационно-управляющих систем. Выбор степени автоматизации управления .....	21
Лабораторная работа №4. Анализ эффективности информационных систем в условиях определенности.....	24
Лабораторная работа №5. Оценка сложных систем в условиях риска .....	34
Лабораторная работа № 6. Синтез информационных систем, решаемые задачи синтеза. Принципы синтеза систем .....	38
Лабораторная работа №7. Синтез иерархической структуры комплекса технических средств информационной системы.....	42
Лабораторная работа №8. Синтез функциональной структуры информационной системы .....	47
Лабораторная работа №9. Модели и моделирование информационных систем .....	54
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	62

## Введение

Современный мир неотделим от стремительного развития информационных технологий. Они оказывают глубокое влияние на различные сферы деятельности, включая управление организациями.

Целью данного методического пособия является формирование у студентов глубокого понимания роли информационных технологий в управлении организациями, а также развитие способности анализировать, выбирать и применять подходящие технологические инструменты для решения управленческих задач. Для достижения этой цели перед студентами ставятся следующие задачи:

1. Изучение основных понятий и терминов в области информационных технологий и управления.
2. Анализ влияния информационных технологий на процессы управления в организациях.
3. Ознакомление с современными информационными системами и программными инструментами, применяемыми в управлении.
4. Приобретение практических навыков работы с информационными технологиями в контексте реальных управленческих сценариев.

Основная задача методических указаний - ознакомить студентов с ключевыми аспектами применения информационных технологий в процессах управления, позволяя им освоить не только теоретические основы, но и практические навыки для успешного функционирования в современной деловой среде.

# Лабораторная работа №1. Сравнительный анализ «информационных систем»

## Цель работы

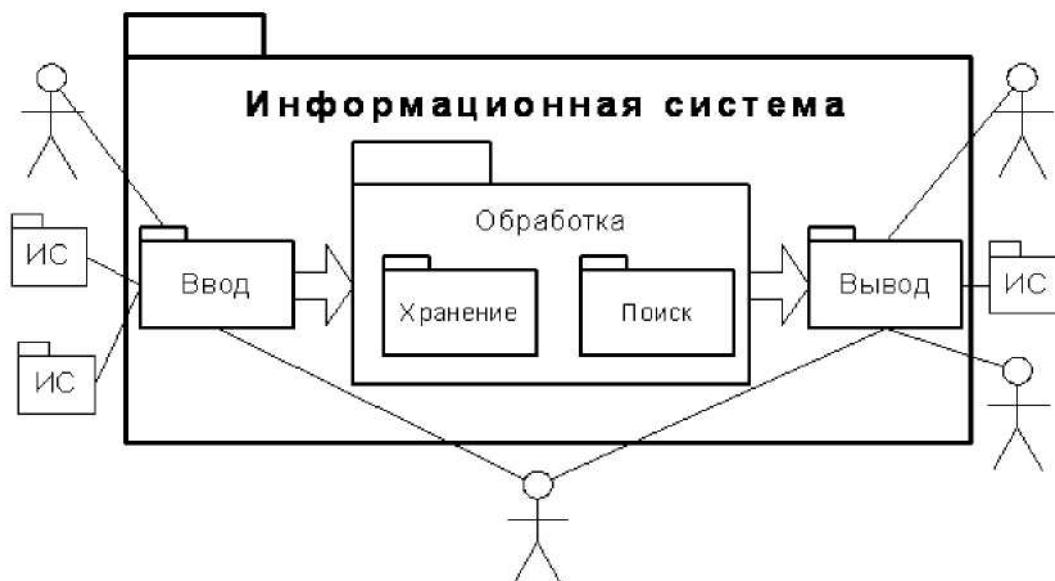
Выполнить сравнительный анализ «информационной системы».

## Теоретические сведения

**Информационная система (ИС)** - основной объект прикладной информатики. Несмотря на разнообразие ИС, все они имеют много общего.

**Информационная система** - Система, предназначенная для хранения, обработки, поиска, распространения, передачи и предоставления информации. [ГОСТ 7.0 99].

## Функции информационной системы



**Рис. 1.1** Основные функции информационной системы.

Дать всеобъемлющее и удовлетворительное определение информационной системы (ИС) трудно. Поэтому определим информационную систему через ее основные функции (рис. 1.1):

1. Ввод информации (сбор информации, прием информации из других ИС).
2. Обработка информации (в частности, хранение и поиск информации).
3. Вывод информации (демонстрация ее человеку, передача в другие ИС).

Информационная система необязательно использует компьютеры. Существуют многочисленные примеры некомпьютерных ИС: бухгалтерские учетные системы XVI - XX вв., карточные каталоги библиотек, любая книга, снабженная печатным справочным материалом, например, указателем.

Минимальная единица информации, хранимая и обрабатываемая информационной системой, называется записью. Многие операции, выполняемые информационными системами в процессе обработки информации, используют несколько записей одновременно.

Запись сама может иметь (и, как правило, имеет), внутреннюю структуру. Составляющие (элементы) записи обычно называются полями. Информационная система при обработке записи работает со всеми полями записи, хотя может создавать иллюзию того, что некоторые поля в обработке записи не участвуют.

Три функции информационной системы присутствуют в любой ИС, хотя могут иметь рудиментарные формы (например, в предметном указателе книги сбор информации и ее обработка были выполнены единственный раз, а вывод осуществляется перелистыванием книги ее читателем). Почти всякая отдельная программа может рассматриваться как информационная система. Например, текстовый процессор позволяет ввести информацию, он ее обрабатывает (хотя долговременным хранением информации для текстового процессора занимается операционная система), в текстовом процессоре возможен поиск информации, и уж конечно текстовый процессор умеет выводить информацию.

### **Предметная область**

Информационные системы никогда не существуют сами по себе. Они всегда связаны с какой-то деятельностью человека (организации): расчётом траектории ракеты, управлением движением самолётов, дозировкой лекарств, вводимых больному, расчётом заработной платы, учётом недвижимости, поиском веб-страниц, реконструкцией археологических объектов и др.

Деятельность, связанная непосредственно с информационными системами (и только с ними), редко бывает основной (если только организация не занята исключительно разработкой и/или сопровождением ИС). Информационная система всегда только обслуживает основную деятельность организации/человека.

Зачастую в организации эксплуатируется несколько информационных систем. Например, в библиотеке может работать библиотечная ИС (учёт читателей, электронный каталог, учёт книговыдачи и др.) и кадровобухгалтерская система (отдел кадров, учёт зарплаты).

Наличие тесной связи информационной системы и обслуживаемой ею деятельности позволяет говорить о предметной области ИС — объектах той деятельности, с которой эта ИС связана, и отношениях между этими объектами. Так, в библиотечной ИС объектами предметной области являются издания (книги, журналы, эстампы, музыкальные записи и др.), средства хранения изданий (хранилища и стеллажи), читатели, библиографы и др. А в кадрово-бухгалтерской информационной системе объектами предметной области будут сотрудники, должности, рабочее время, штатное расписание, премии и надбавки, налоги и пр.

### **Подсистемы**

Каждая функция информационной системы может выполняться отдельным компонентом ИС. Такой компонент называется подсистемой или модулем (в зависимости от произвольно оцениваемой сложности или размера компонента). В небольших ИС подсистема может реализовать несколько функций; в больших и сложных ИС их функции детализируются (простейший пример — разделение функций хранения и обработки информации). Каждая такая детальная функция может реализовываться своей подсистемой; подсистемы могут реализовывать несколько различных детальных функций (относящихся, например, к одному из видов информации, обрабатываемой ИС). Например, подсистема расчета заработной платы в бухгалтерской ИС может реализовывать все 4 функции ИС, но по отношению только к некоторой части финансовой информации (используемой при расчете заработной платы, но не требующейся, например, для учета движения оборудования).

### **Обеспечения**

Для того, чтобы подсистемы ИС могли реализовывать функции ИС, необходимы компоненты, согласованно используемые всеми или, по крайней мере, несколькими подсистемами.

Такие компоненты называются обеспечениями (или видами обеспечения). Различают по крайней мере пять обеспечений:

1 Аппаратное (компьютеры в той или иной комплектации; специфические для ИС периферийные устройства: сканеры, принтеры, синтезаторы звука, цифровые микрофоны, кассовые аппараты, устройства отображения информации и др.; устройства управления датчиками физических величин и считывания данных с них (например, счетчик яиц на конвейере птицефабрики); кабели и оборудование телекоммуникационных сетей; аппаратура электропитания и вентиляции и др.).

2 Программное (операционные системы; языки программирования, на которых выполняется разработка ИС; системы управления базами данных (СУБД); информационно-поисковые системы (ИПС); библиотеки программных компонентов; серверное программное обеспечение, например, веб-сервер). В программное обеспечение информационных систем никогда не включаются средства их разработки (редакторы программных текстов, компиляторы и др.).

3 Лингвистическое (словари данных и другая метаинформация (информация об информации), искусственные языки, используемые в ИС — например, языки запросов к СУБД/ИПС, языки форматных преобразований; описания коммуникативных форматов и др.).

4 Информационное (полупостоянная информация, мало или совсем не изменяемая за время жизни ИС - нормативно-справочная информация (НСИ), - например, перечень районов города или список слов, не включаемых в словарь ИПС). Информационное и лингвистическое обеспечения иногда объединяют, включая лингвистическое обеспечение в информационное или наоборот.

5 Организационное (производственные роли, руководства пользователей и администраторов ИС).

6 Для реализации каждой функции информационной системы могут использоваться все или только часть обеспечений.

### **Жизненный цикл информационной системы**

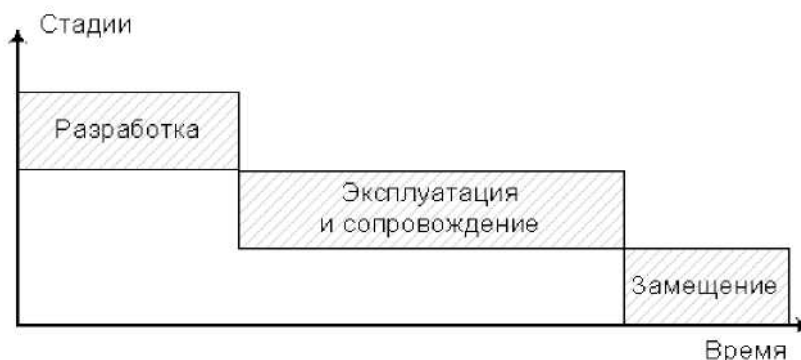
Информационные системы не существуют вечно - они создаются, работают (эксплуатируются) и замещаются другими информационными системами. Период от появления замысла информационной системы до её полного замещения другой ИС называется жизненным циклом информационной системы. Структуры жизненных циклов различных ИС бывают различны, о чаще всего они либо линейны - когда одна стадия жизненного цикла последовательно сменяет другую, - либо представляют собой спираль, когда стадии жизненного цикла сменяют друг друга, неоднократно повторяя некоторую последовательность стадий - каждый раз для более развитой версии информационной системы.

### **Линейный жизненный цикл информационной системы**

Линейный жизненный цикл информационной системы (рис. 1.2) состоит из трёх стадий:

1 Разработка (создание, производство)

- 2 Эксплуатация и сопровождение (использование и доработка)
- 3 Замещение другой информационной системой (с сохранением накопленных данных)



**Рис. 1.2** Линейный жизненный цикл информационной системы

Линейный жизненный цикл в настоящее время характерен для военных и других информационных систем, связанных с использованием определённого оборудования (например, мобильных телефонов; с выработкой ресурса оборудования ИС замещается вместе с оборудованием) или высокими требованиями к качеству ИС (управление воздушным движением, обеспечение жизнедеятельности пациента в больнице и др.).

Существенным элементом линейного жизненного цикла информационной системы является так называемое сопровождение системы. Процесс сопровождения включает две разновидности мероприятий:

1. Администрирование - мероприятия, направленные на поддержание приемлемых эксплуатационных характеристик ИС (используемые ресурсы, надёжность и др.),
2. Сопровождение разработки - мероприятия, имеющие целью изменение характеристик ИС (прежде всего, обнаружение и исправление ошибок; но также и модификация ИС для решения новых задач, не предусмотренных при её разработке, или для обеспечения возможности эксплуатации ИС в условиях, которые также не были предусмотрены, например, на иной аппаратуре).

Сопровождение разработки при линейном жизненном цикле информационной системы - аналог авторского надзора в строительстве - может выполняться как разработчиками, так и эксплуатационным персоналом и/или третьими организациями.

### **Спиральный жизненный цикл**

Большинству современных информационных систем присущ спиральный жизненный цикл (рис. 1.3). В спиральном жизненном цикле информационной системы эксплуатация ИС может быть не связана с процессом сопровождения разработки (однако от администрирования всё равно никуда не деться). Ошибки, обнаруженные в процессе эксплуатации, и требования изменений, которые необходимо внести в информационную систему, фиксируются в фазе оценки информационной системы и поступают к разработчикам, которые через определённые интервалы времени выпускают новый вариант информационной системы, называемый *версией* (редакцией, релизом и т.п.). С получением очередной версии ИС эксплуатационный персонал замещает ею её предыдущую версию. В реальности фазы эксплуатации, оценки и разработки могут совмещаться во времени.





**Рис. 1.3** Спиральный жизненный цикл информационной системы

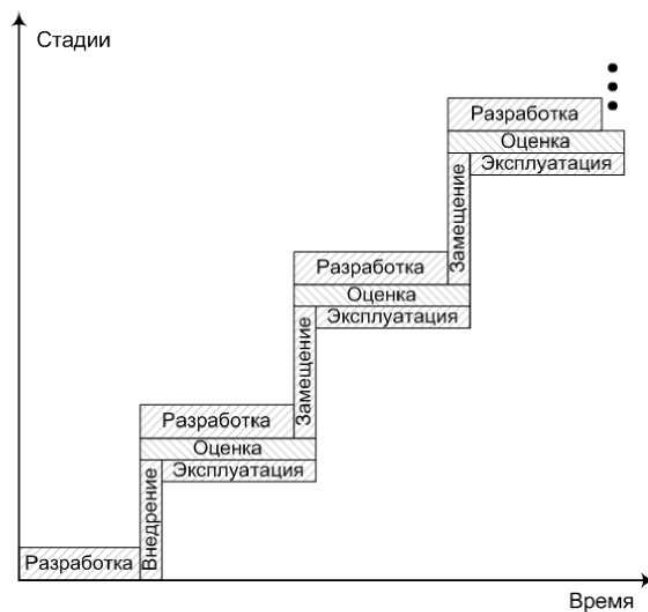
Использование информационных систем со спиральным жизненным циклом позволяет:

*во-первых*, сократить время от начала разработки до начала эксплуатации ИС (за счёт ограничения функциональности первой версии ИС);

*во-вторых*, относительно быстро (с задержкой, равной времени выпуска очередной версии, которое может быть равным, например, даже двум неделям) реагировать на обнаруживаемые ошибки, изменяющиеся требования пользователей и изменяющиеся условия эксплуатации информационной системы. (рис.1.4)

С каждой формой жизненного цикла информационной системы связан определённый тип процесса её разработки. Линейному жизненному циклу соответствует так называемый «водопадный» процесс («сразу и целиком»), а спиральному жизненному циклу - разнообразные итерационные (пошаговые) процессы разработки ИС.

В литературе (да и в жизни) для информационных систем со спиральным жизненным циклом понятия жизненного цикла и процесса разработки зачастую отождествляются. Причина такого отождествления понятна - в этом случае разработка ведётся параллельно эксплуатации ИС, в течение всего её жизненного цикла.



**Рис. 1.4** Спиральный жизненный цикл как смена версий

### Задания и составление отчета

Необходимо сравнить 3 информационные системы по критериям, которые студентом выбираются самостоятельно.

Вариант индивидуального задания определяет один из видов современных информационных систем.

В процессе выполнения лабораторной работы необходимо:

1. Найти информацию, характеризующую назначение и область применения заданного вида информационных систем.
2. Определить, к какому классу относится заданный вид информационных систем (по характеру использования информации, по сфере применения, по способу организации, по уровню и масштабу решаемых задач).
3. Составить общее описание заданного вида информационных систем.
4. Найти описание нескольких (не менее двух) современных информационных систем, относящихся к заданному виду.
5. Сформулировать краткое описание назначения и функциональных возможностей каждой из информационных систем по отдельности. Указать на характеристики и свойства, которые являются общими для всех рассматриваемых ИС.
6. Заполнить таблицу отличий между информационными системами. Указать на их индивидуальные особенности, различающиеся количественные и качественные характеристики.
7. Разработать пример возможного применения одной из информационных систем в деятельности некоторого объекта автоматизации (предприятия или организации). Вид деятельности объекта автоматизации выбирается самостоятельно.
8. Составить документ-обоснование для внедрения информационной системы. Описать, чего позволит достичь внедрение информационной системы с точки зрения повышения эффективности работы объекта автоматизации (организации, предприятия).

#### Задание 1. Сравнительный анализ информационных систем «Электронная почта»

Критерий для сравнения	Название		

#### Задание 2. Сравнительный анализ информационных систем «Социальная сеть»

Критерий для сравнения	Название		


**Задание 3. Сравнительный анализ информационных систем «Графический редактор».**

Критерий для сравнения	Название		

**Задание 4. Сравнительный анализ информационных систем «Интернет-магазин»**

Критерий для сравнения	Название		

**Задание 5. Сравнительный анализ информационных систем «Система управления содержанием»**

Критерий для сравнения	Название		


**Задание 6. Сравнительный анализ информационных систем «Онлайн-сервис просмотра видео»**

Критерий для сравнения	Название		

**Задание 7. Сравнительный анализ информационных систем «Блоги»**

Критерий для сравнения	Название		

**Задание 8. Сравнительный анализ информационных систем «Сайт для обмена музыкой».**

Критерий для сравнения	Название		


**Задание 9. Сравнительный анализ информационных систем «Торрент-трекер».**

Критерий для сравнения	Название			

**Задание 10. Сравнительный анализ информационных систем «Сайт, посвященный компьютерным играм»**

Критерий для сравнения	Название			

**Задание 11. Сравнительный анализ информационных систем «Форум».**

Критерий для сравнения	Название			

--	--	--	--	--

**Задание 12. Сравнительный анализ информационных систем «Новостной сайт».**

Критерий для сравнения	Название			

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое информационная система?
2. Предметная область информационной системы?
3. Подсистема?
4. Обеспечение информационной системы?
5. Жизненный цикл информационной системы?

## Лабораторная работа №2. Описание системы как «Черного ящика».

### Декомпозиция систем

#### Модель «черного ящика»

Термин «Черный ящик» широко применяется в кибернетике при представлении изучаемого объекта моделью «вход - выход», показанной на рисунке 2.1.

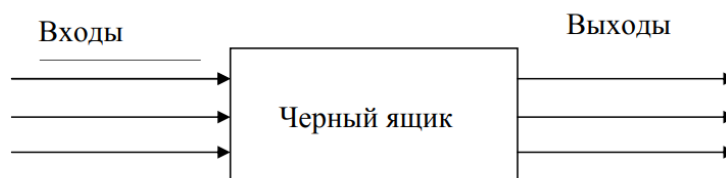


Рис. 2.1 Модель «черного ящика»

Понятие «чёрный ящик» предложено У.Р. Эшби. В кибернетике оно позволяет изучать поведение систем, то есть их реакций на разнообразные внешние воздействия и в то же время абстрагироваться от их внутреннего устройства [1].

Модель типа «черный ящик» можно реализовывать различными способами. Были модели, в которых измерялось количество входных и выходных воздействий. Выбирались последовательности входных воздействий, случайных и направленных. Формировались векторы «входов» и «выходов». На основе протоколов испытаний разрабатывались прогнозы поведения системы, рекомендации по корректировке управляющих воздействий и т.п. В некоторых моделях «выходы» рассматривались как цели и осуществлялся поиск входных управляющих воздействий, обеспечивающих достижение целей. То есть система изучается не как совокупность взаимосвязанных элементов, а как нечто целое, взаимодействующее со средой на своих входах и выходах.

Метод «черного ящика» применим в различных ситуациях. Этот способ используется при недоступности внутренних процессов системы для исследования, при исследовании систем, все элементы и связи которых в принципе доступны, но либо многочисленны и сложны, что приводит к огромным затратам времени и средств при непосредственном изучении.

#### Декомпозиция - метод математического описания систем

Основной операцией анализа является представление целого в виде частей. В результате анализа решаемые системой задачи разбиваются на подзадачи, системы на подсистемы, цели на подцели. Процесс разбиения продолжается, пока не удастся представить соответствующий объект в виде совокупности элементарных компонентов, целевой функции объекта - в виде последовательности подцелей. Каждой подсистеме ставится в соответствие подцель и наоборот. В этом заключается смысл декомпозиции - для отдельных подсистем объекта проще составить математическое описание. Далее математическое описание объекта представляется как совокупность математических описаний подсистем.

Так, в технических системах декомпозиция проводится таким образом, чтобы функционирование каждого элемента объекта, полученного в результате декомпозиции, определялось одной физической, физико-химической или какой-либо другой зависимостью, т.е. описывалось одним уравнением.

В человеко-машинных системах цели достигаются в результате совместной работы технических систем и производственного персонала, осуществляющих производственную деятельность и определяющих направление функционирования технических средств. Такие системы имеют особенности: целенаправленность, наличие неопределенности, активность, вызванные наличием человека в системе. В качестве рекомендаций при математическом моделировании таких систем можно предложить разделение функций технической части системы и человека, принимающего решения по функционированию системы.

При декомпозиции объекта требуется соблюдать правило, по которому необходимо сопоставлять модель объекта с моделью цели и наоборот. Если цель заключается в определении показателей надежности и безопасности функционирования объекта, то соответствующая модель должна быть моделью надежности или безопасности.

В результате декомпозиции должно получаться столько частей, сколько элементов содержит модель, взятая в качестве основания. Под основаниями декомпозиции понимается совокупность элементов системы (частей), вглубь которых не проникает описание, т.е. они являются условно неделимыми.

Качество построенных структур зависит от применяемой методики декомпозиции. При этом набор частей должен быть, с одной стороны, полным, а с другой - не должен быть избыточным.

Алгоритм декомпозиции как способ упрощения сложного заключается в следующем:

1. Определение объекта анализа (все, что угодно - любое высказывание, раскрытие смысла которого требует структурирования).
2. Определение целевой системы (определить, зачем нужно то, что мы собираемся делать; в качестве целевой выступает система, в интересах которой осуществляется анализ).
3. Выбор формальных моделей (набор фреймов и правил перебора).
4. Определение модели основания (строится с помощью классификаторов на основании изучения целевой системы).
5. Очередной объект декомпозиции анализируется.
6. Осуществляется процедура декомпозиции.
7. Анализируются полученные фрагменты.
8. Проверка очередного фрагмента на элементарность.
9. Проверка использования всех фреймов.
10. Проверка: все ли основания детализированы.
11. Отчет: окончательный результат в форме граф-схемы или структуры.

В реализации приведенного алгоритма компромисс достигается с помощью понятий существенного (необходимого), элементарного (достаточного), а также постепенной нарастающей детализацией базовых моделей и итеративности алгоритма декомпозиции.

### **Варианты заданий к практическим занятиям**

Вариант 1-й. Разработать функциональную модель организации учебного процесса для 2-го года обучения с момента перевода на второй курс.

За базовую структуру принять функциональную модель (рис. 2.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока перевода с 1-го на 2-й курс. Предусмотреть

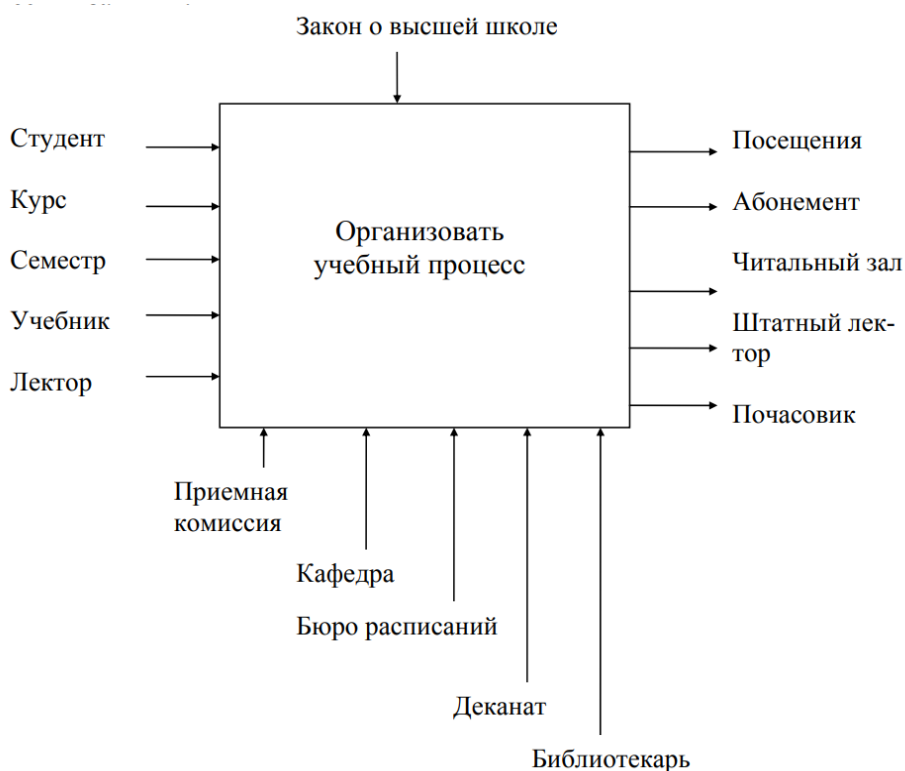


возможность продления сессии (по уважительной причине) и возможность перевода со специальности на специальность по следующему алгоритму:

- заявление на имя ректора;
- получение согласия кафедры и деканата (откуда и куда переводится);
- при наличии согласия проректор издает приказ о переводе, производится изменение названия специальности и номера группы.

Вариант 2-й. Разработать функциональную модель организации учебного процесса с учетом включения в учебный план практических и лабораторных работ.

За базовую структуру принять функциональную модель. Разработать второй уровень декомпозиции блока организации и регистрации с учетом дополнительного посещения лабораторных работ и практических занятий.



**Рис. 2.2** Модель типа «черный ящик» организации учебного процесса в университете (1-го года обучения).

Алгоритм:

1. Преподаватель отмечает посещение лабораторных и практических занятий.
2. В случае уважительного пропуска организуются дополнительные работы в течение семестра.

3. Беспричинный пропуск - отработка в конце семестра.

4. Три пропуска подряд вызывают недопуск к сессии.

Вариант 3-й. Разработать функциональную модель организации учебного процесса с учетом включения в учебный план курсовой работы.

За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 2.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока организации и регистрации с учетом дополнительного посещения консультаций по курсовому проектированию. Алгоритм:

- 1) преподаватель отмечает посещение консультаций;

- 2) в случае уважительного пропуска организуются консультации в течение семестра;
- 3) три беспричинных пропуска подряд вызывают недопуск к защите курсовой работы.

Вариант 4-й. Разработать функциональную модель организации учебного процесса с учетом возможности приобретения учебной литературы за свой счет.

За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис.2.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока получения литературы в библиотеке. Алгоритм:

- 1) по номеру читательского билета заполняется личная карточка;
- 2) составляется требование на литературу;
- 3) заполняется формуляр.

Вариант 5-й. Разработать функциональную модель организации учебного процесса для 1-го года обучения с момента зачисления на первый курс. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 2.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока. Предусмотреть обслуживание студентов в читальном зале университета и проведение текущей аттестации по следующему алгоритму:

- 1) учебное пособие определяет лектор в соответствии с содержанием лекции;
- 2) библиотекарь обслуживает студента;
- 3) аттестацию проводит лектор по прочитанному лекционному материалу, а деканат принимает организационные решения.

Вариант 6-й. Разработать функциональную модель организации учебного процесса в университете. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 2.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока. В конце первого учебного года организуется вычислительная практика по следующему алгоритму:

1. Издаётся приказ о командировании студентов на практику в другие организации, назначается преподаватель для руководства практикой.
2. Во время практики студент осваивает навыки работы с компьютером, ведет записи в дневнике.
3. Руководитель контролирует посещение студентом рабочего места и выполняемую работу.
4. В конце практики студент оформляет отчет по практике и сдает зачеты преподавателю. Преподаватель заполняет ведомость сдачи зачетов и делает запись в зачетной книжке студента.

Вариант 7-й. Разработать функциональную модель обучения студентов по индивидуальному плану. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 2.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока.

Алгоритм:

1. Студент пишет заявление на имя декана о разрешении перехода на индивидуальную форму обучения.
2. Преподаватели кафедры выдают задания и планы на индивидуальную форму обучения.
3. Студент по индивидуальному плану сдает преподавателю выполненные задания и проходит текущую аттестацию; в конце учебного семестра студент сдает экзамены вместе со своей группой.

4. Преподаватель выставляет оценку в экзаменационной ведомости и зачетной книжке студента.

Вариант 8-й. Разработать функциональную модель сдачи студентом экзаменов по дисциплине. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис.2.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока. Сдача экзаменов проводится по следующему алгоритму:

1. Студент повторяет пройденный теоретический материал в процессе подготовки к экзаменам по конспектам лекций и учебникам.

2. Преподаватель проводит консультацию, отвечает на вопросы студентов.

3. Преподаватель экзаменует студента в письменной форме. Студент заполняет экзаменационный лист и пишет ответы на заданные вопросы.

4. Преподаватель выставляет оценку в экзаменационном листе, экзаменационной ведомости и в зачетной книжке студента.

5. Деканат анализирует итоги экзаменационной сессии, издает распоряжение с указанием сроков ликвидации задолженностей по сессии.

Вариант 9-й. Разработать функциональную модель обучения студентов по форме экстерната. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 2.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока. Обучение проводится по следующему алгоритму:

1. Абитуриент сдает вступительные экзамены.

2. При положительных итогах вступительных экзаменов абитуриент заключает контракт с университетом и вносит в кассу плату за обучение.

3. Приказом по университету абитуриент зачисляется на обучение в университет. Получает контрольные задания от преподавателей для изучения дисциплин.

4. Студент в течение семестра высылает контрольные задания в деканат для проверки.

5. Преподаватель проверяет контрольные задания и делает отметки об их выполнении в журнале.

6. Во время установочной сессии студент прослушивает теоретический курс, выполняет лабораторные работы.

7. По расписанию сдает экзамены. Преподаватель выставляет оценки в экзаменационном листе и зачетной книжке студента.

8. В конце учебного года издается приказ по университету о переводе студента на следующий курс обучения.

Вариант 10-й. Разработать функциональную модель избрания на вакантную должность доцента кафедры. За базовую структуру принять функциональную модель (см. рис. 2.2). Разработать второй уровень декомпозиции блока. Избрание проводится по следующему алгоритму:

1. Университет объявляет конкурс на вакантную должность доцента, объявление публикует в газете.

2. Претендент пишет заявление на имя ректора о допуске к конкурсу, прикладывает необходимые документы об образовании, звании, личный листок по учету кадров, трудовую книжку, военный билет.

3. Кафедра рассматривает документы претендентов и делает заключение о профессиональном соответствии соискателей.

4. Совет факультета проводит процедуру избрания. Тайным голосованием избирается претендент на вакантную должность.

5. Отдел кадров выносит документы на ректорат. Ректорат принимает решение о заключении контракта с избранным лицом.

6. Ректор издает приказ о приеме на работу, подписывает контракт с избранным лицом.

#### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите способы реализации модели типа «черный ящик».

2. В каких ситуациях применяется метод «черного ящика» при анализе информационной системы (ИС)?

3. В чем заключается смысл декомпозиции сложных информационных систем?

4. Как проводится декомпозиция сложных технических систем?

5. Что понимается под основаниями декомпозиции и как оно используется в процессе декомпозиции?

Алгоритм декомпозиции. Раскройте его содержание.

### Лабораторная работа №3. Функциональный анализ информационно-управляющих систем. Выбор степени автоматизации управления

Степень участия человека в процессе управления определяется степенью автоматизации управления, которая вычисляется по формуле

$$\gamma = n_a/n, \quad (3.1)$$

где  $n$ - общее количество связей между алгоритмами;  $n_a$  - число связей, по которым передается информация для автоматического управления.

На выбор величины  $\gamma$  влияют два фактора: ограниченность пропускной способности оператора и затраты. Повышение степени автоматизации сопряжено с дополнительными затратами: нужны дополнительные технические средства (датчики, исполнительные средства, линии связи), возрастают расходы на наладку и эксплуатацию. Одновременно повышение степени автоматизации улучшает характеристики управления, уменьшается количество обслуживающего персонала и улучшаются условия труда.

Соотношение между  $n_{a \min}$  (минимальное количество информации, обрабатываемое автоматически) и  $n$  определяет минимальный уровень автоматизации  $\gamma_0$

$$\gamma_0 = n_{a \min} / n. \quad (3.2)$$

Проведем анализ влияния степени автоматизации управления на затраты  $S$ , связанные с эксплуатацией системы:

$$S = t(s_1/t_0 + s_2m + s_3A + s_4A), \quad (3.3)$$

где  $t$ - время эксплуатации системы, мес.;  $t_0K$ - установленный срок окупаемости системы, мес.;  $A$  - количество технических средств (ТС);  $m$ - число операторов;  $s_1$ - стоимость одного ТС, руб.;  $s_2$ - зарплата оператора, руб.;  $s_3$  - затраты в течение месяца на обслуживание и ремонт одного эквивалентного ТС, руб.;  $s_4$ - затраты в течение месяца на электроэнергию, потребляемую одним ТС, руб.

Зависимости числа операторов  $m$  и количества технических устройств  $A$  от уровня автоматизации  $\gamma$  описываются уравнениями:

$$m = M(1 - \gamma), \quad (3.4)$$

$$A = A_p + (A_a - A_p)\gamma^2, \quad (3.5)$$

где  $M$  - максимальное число операторов при полном ручном управлении;  $A_a$ - необходимое количество ТС при полном автоматическом управлении;  $A_p$ - необходимое количество ТС при полном ручном управлении.

Подставляя (3.4) и (3.5) в (3.3), получаем соотношение для расчета затрат при произвольной степени автоматизации  $1 > \gamma > 0$ :

$$S = t\{[A_p + (A_a - A_p)\gamma^2](s_1 + s_3 + s_4) + M(1 - \gamma)s_2\}. \quad (3.6)$$

Целесообразная степень автоматизации  $y^*$  определяется приравнением нулю производной  $dS/dy=0$ , убедившись, что  $dS/dy > 0$ , получаем:

$$y^* = Ms^2/[2(Aa - Ap)(s_1^k + s_3 + s_4)]. \quad (3.7)$$

Если  $y^*$  окажется меньше  $y_0$ , это означает, что рациональный уровень автоматизации не может быть достигнут и минимальные возможные затраты определяются по (3.6) при  $y = y_0$ .

При  $y^*$  больше  $y_0$  уточняется число операторов по (3.4), расчеты округляются до целого числа. Находится необходимое количество ТС  $A$  по (3.5) и уточняются затраты по (3.6).

#### Пример

Провести функциональный анализ информационно-управляющей системы при следующих данных:  $S_1=30$  тыс. руб.;  $S_2=20$  тыс. руб.;  $S_3=3$  тыс. руб.;  $S_4=2$  тыс. руб.;  $t_{0R}=30$  мес.;  $t=12$  мес.;  $n=100$ ;  $A_a=10$ ;  $A_p=1$ ;  $M=4$ . Выбрать степени автоматизации управления.

Рассмотрим три варианта распределения функций управления между оператором и техническими средствами: автоматизированное с минимальным уровнем автоматизации  $y_{0\text{мин}}=0,6$ , автоматическое с  $Y_{0\text{мин}}=0,9$  и ручное с  $Y_{0\text{мин}}=0,1$ .

С использованием формул (3.4) - (3.7) были проведены расчеты, результаты которых даны в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Результаты анализа распределения функций управления

$n$	$na$	$\gamma_0$ мин	$\gamma^*$	$m$	$S(\gamma^*)$	$S(\gamma_0)$	$A$	$n_p$ факт	Управление
100	80	0,6	0.74	1,03	676,4	689,28	5,9	25,9	Автоматизированное
100	100	0,9	0.74	1,03	692,8	692,88	8,29	10	Автоматическое
100	0	0,1	0.74	1,03	676,4	942,48	5,9	25,9	Ручное

Повышение степени автоматизации сопряжено с дополнительными затратами ( $S(y^*)=692,8$  тыс. руб.), нужны дополнительные ТС ( $A=8,29$ ), возрастают расходы на наладку и эксплуатацию. Одновременно повышение степени автоматизации улучшает характеристики управления - уменьшается количество информации, перерабатываемой оператором ( $n_p \text{ факт} = 10$ ). Оптимальным уровнем автоматизации задач управления является  $y^* = 0,74$ .

#### Задачи

*Пример 3.1.* Провести анализ влияния стоимости технических средств на степень автоматизации при  $S_1=20, 30, 40, 50$  тыс. руб. Определить рациональный уровень автоматизации управления при различных стоимостях ТС.

*Пример 3.2.* Провести анализ влияния затрат на обслуживание и ремонт ТС, если стоимость обслуживания и ремонта одного условного ТС в течение месяца составит  $S_3=2,5; 3; 3,5; 4$  тыс. руб. Определить рациональный уровень автоматизации управления при различных стоимостях обслуживания и ремонта ТС.

*Пример 3.3.* Провести анализ влияния зарплаты оператора на степень автоматизации при  $S_2 = 10, 15, 20, 25$  тыс. руб. в месяц. Определить рациональный уровень автоматизации управления при различных зарплатах оператора.

*Пример 3.4.* Провести анализ влияния изменения стоимости электроэнергии, потребляемой ТС, на уровень автоматизации при  $S_4 = 1,5; 2; 2,5; 3$  тыс. руб. в месяц на одно ТС. Определить рациональный уровень автоматизации управления при различной стоимости электроэнергии.

*Пример 3.5.* Провести анализ влияния срока окупаемости системы на уровень автоматизации при сроках окупаемости  $t_{0R} = 24, 30, 36, 48$  месяцев. Определить рациональный уровень автоматизации управления при различных установленных сроках окупаемости системы.

#### **Контрольные вопросы**

1. Как оценивается в ИС степень участия человека в процессе управления?
2. Что влияет на выбор степени автоматизации управления в ИС?
3. Как влияет степень автоматизации управления на затраты, связанные с эксплуатацией системы?
4. Каким образом определяется целесообразная степень автоматизации управления в ИС?
5. Влияет ли стоимость технических средств на степень автоматизации управления в ИС и каким образом?
6. Как влияет срок окупаемости информационной системы на степень автоматизации управления?
7. Объясните влияние изменения стоимости электроэнергии, потребляемой ТС, на степень автоматизации управления.

## Лабораторная работа №4. Анализ эффективности информационных систем в условиях определенности

### Оценка проектных решений

Важное место при проектировании информационных систем (ИС) занимает принятие решений - выбор лучшего варианта построения системы. Для количественной оценки качества вариантов системы выбирается показатель эффективности.

Встречаются случаи, когда примерно одинаковые по техническим характеристикам варианты ИС имеют разные экономические показатели. Экономические показатели позволяют сравнивать между собой примерно равные по техническим характеристикам варианты, планировать процесс создания системы, добиваясь минимизации затрат на проектирование и эксплуатацию.

Проведем сравнение двух вариантов создания системы, учитывая фактор времени капитальных и текущих затрат на эксплуатацию системы. Обычно затраты приводятся к началу эксплуатации ИС. Капитальные вложения, приведенные с учетом фактора времени, рассчитываются по формуле:

$$K_0 = K_i (1 + E_{\text{нп}})^i, \quad (4.1)$$

где  $K$  - капитальные затраты, произведенные за  $i$  лет до начала эксплуатации;  $E_{\text{нп}}$  - норматив для приведения разновременных затрат.

В период эксплуатации ИС могут иметь место капитальные вложения, они приводятся к первому году эксплуатации по формуле

$$K_0 = K_j / (1 + E_{\text{нп}})^j, \quad (4.2)$$

где  $K$  - капитальные вложения, сделанные в  $j$ -м году периода эксплуатации системы.

Суммарные капитальные вложения за время жизни ИС, приведенные к первому году эксплуатации, равны:

$$K = \sum_{j=r-1}^0 K_j (1 + E_{\text{нп}})^j + \sum_{j=1}^r \frac{K_j}{(1 + E_{\text{нп}})^j} = \sum_{j=1-r}^r \frac{K_j}{(1 + E_{\text{нп}})^j}, \quad (4.5)$$

где  $r$  - период времени от начала проектирования до начала эксплуатации ИС.

Вышеприведенные рассуждения справедливы и для текущих затрат, которые планируются заранее, аналогичные соотношения можно записать для суммарных текущих затрат  $C$ , приведенных к первому году эксплуатации ИС:

$$C = \sum_{j=1-r}^r \frac{C_j}{(1 + E_{\text{нп}})^j}. \quad (4.4)$$



Величина приведенных затрат  $S$  будет равна сумме капитальных вложений  $K$  и текущих затрат  $C$ :

$$S = K + C. \quad (4.5)$$

*Пример.* В результате эскизного проектирования предложены варианты построения системы и определены темпы финансирования, данные в таблице.

Оценить, какой из вариантов проектирования более эффективен, первый или второй?

Варианты отличаются темпами финансирования при одинаковых капитальных вложениях и текущих затратах. В варианте 1 просматривается тенденция опережающих темпов. Сравнительную экономическую эффективность можно провести только с учетом фактора времени. Норматив для приведения разновременных затрат примем равным  $E_{нп} = 0,08$ . В рассматриваемом примере период времени от начала проектирования до начала эксплуатации ИС равен  $r=4$ .

Таблица 4.1.

Темпы финансирования проекта ИС по вариантам, тыс. руб

Вид затрат	Затраты по годам								Общая сумма затрат
	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Вариант 1:</b>									
<i>Период проектирования</i>									
Капитальные вложения	100	80	60	40					280
Текущие затраты			100	80					180
<i>Период эксплуатации</i>									
Текущие затраты					20	20	20	20	80
Капитальные вложения					60	10	10	10	90
Итого.....									630
<b>Вариант 2:</b>									
<i>Период проектирования</i>									
Капитальные вложения	40	60	80	100					280
Текущие затраты			40	180					220
<i>Период эксплуатации</i>									
Текущие затраты					20	20	20	20	80
Капитальные вложения					20	10	10	10	50
Итого.....									630
<b>Вариант 3:</b>									
<i>Период проектирования</i>									
Капитальные вложения	70	70	70	70					280
Текущие затраты			110	110					220
<i>Период эксплуатации</i>									
Текущие затраты					20	20	20	20	80
Капитальные вложения					12	13	12	13	50
Итого.....									630

Рассчитаем величину приведенных затрат по (4.3) и (4.4) для варианта 1:

$$K_2 = 100 \cdot 1,08^3 + 80 \cdot 1,08^2 + 60 \cdot 1,08^1 + 40 + 60 \cdot 1,08^{-1} + 10(1,08^{-2} + 1,08^{-3} + 1,08^{-4}) = 402,9 \text{ тыс. руб.}$$

$$C_1 = 100 - 1,08 + 80 + 20(1,08^{-1} + 1,08^{-2} + 1,08^{-3} + 1,08^{-4}) = 254,2 \text{ тыс. руб.}$$

$$S_1 = 402,9 + 254,2 = 657,1 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем величину приведенных затрат по (4.3) и (4.4) для варианта 2:

$$K_2 = 40 \cdot 1,08^3 + 60 \cdot 1,08^2 + 80 \cdot 1,08^1 + 100 + 20 \cdot 1,08^{-1} + 10(1,08^{-2} + 1,08^{-3} + 1,08^{-4}) = 348,7 \text{ тыс. руб.}$$

$$C_2 = 40 \cdot 1,08 + 180 + 20(1,08^{-1} + 1,08^{-2} + 1,08^{-3} + 1,08^{-4}) = 289,4 \text{ тыс. руб.}$$

$$S_2 = 348,7 + 289,4 = 638,1 \text{ тыс. руб.}$$

Сравнение вариантов показывает, что вариант 2 эффективнее, поскольку он экономичнее по приведенным затратам:  $S_2 < S_1$ .

В простейшем случае, когда капитальные вложения  $K$  имеют единовременный характер, срок окупаемости ИС $_{ок}$  составляет менее года, а время жизни системы не превышает трех лет, лучший вариант системы должен обеспечивать минимум годовых приведенных затрат [4]:

$$S = C + E_n \cdot K,$$
$$C = \sum_{i=1}^{tok} \frac{C_i}{t_{ок}}$$
(4.6)

где  $C$  - средние годовые текущие затраты,  $E_n$  - нормативная величина эффективности капитальных вложений ( $E_n = 0,12$ ).

#### **Задачи**

*Пример 4.1.1.* В результате эскизного проектирования предложены первый и третий варианты построения системы. Определены темпы финансирования, приведенные в табл. 4.1. Оценить, какой из вариантов проектирования более эффективен, первый или третий?

*Пример 4.1.2.* В результате эскизного проектирования предложены второй и третий варианты построения системы. Определены темпы финансирования, приведенные в табл. 4.1. Оценить, какой из вариантов проектирования более эффективен, второй или третий?

*Пример 4.1.3.* В результате эскизного проектирования предложены три варианта построения системы. Определены темпы финансирования, приведенные в табл. 4.1. Оценить, какой из вариантов проектирования более эффективен?

*Пример 4.1.4.* Оценить лучший вариант проектирования ИС. В первом варианте единовременные капитальные вложения составляют  $K = 200$  тыс. руб. Годовые затраты на эксплуатацию системы в течение времени жизни системы составляют 15, 20, 25 тыс. руб. Расчетный срок окупаемости системы равен 0,8 года.

Во втором варианте единовременные капитальные вложения составляют  $K = 250$  тыс. руб. Годовые затраты на эксплуатацию системы составляют 10, 15, 20 тыс. руб. Расчетный срок окупаемости системы равен 0,7 года.

Принять нормативную величину эффективности капитальных вложений равной 0,12.

#### **Контрольные вопросы**

1. Как принимается решение по выбору лучшего варианта построения информационной системы?
2. Содержание показателя эффективности для количественной оценки качества вариантов системы.
3. Что учитывается при сравнении двух вариантов создания системы?
4. Что служит критерием выбора лучшего варианта системы, если капитальные вложения имеют единовременный характер, а срок окупаемости ИС менее года и время жизни системы не превышает трех лет?
5. Как капитальные вложения и темпы финансирования влияют на величину приведенных затрат на проектирование системы?

#### 4.2. Анализ загрузки устройств вычислительной системы

Операторный метод используется для анализа загрузки, а также при модернизации существующих вычислительных систем (ВС). Исходные данные для расчета производительности ВС и отдельных ее устройств получают экспериментально с помощью аппаратных и программных измерительных систем.

Функциональные связи устройств ВС удобно описывать в виде графа, вершины которого обозначают номера устройств, а дуги связи между устройствами  $q(i, j) > 0$ .

Расчет производительности работы вычислительной системы и ее отдельных устройств проводится методом операционного анализа. Фиксируется некоторый период времени  $T$ . Время, в течение которого система обрабатывала задание, обозначим  $B(0) < T$ , а количество обработанных заданий за это время обозначим  $C(0)$ . Индекс 0 означает параметры всей системы.

Параметры системы рассчитываются по формулам:

$$U(0) = \frac{B(0)}{T},$$

- коэффициент использования

$$S(0) = \frac{B(0)}{C(0)},$$

- среднее время выполнения одного задания

$$X(0) = \frac{C(0)}{T}.$$

- интенсивность выходного потока заданий

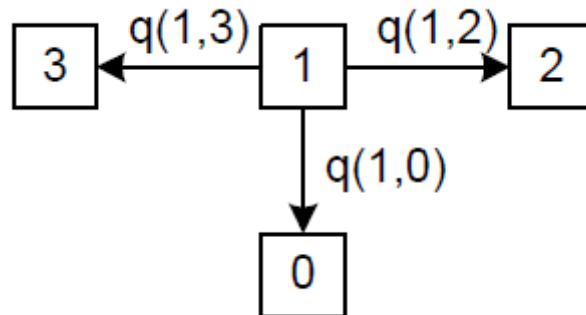
Величина  $X$  также называется пропускной способностью ВС и часто используется в качестве критерия производительности вычислительной системы, который надо максимизировать:

$$X(0) = \frac{U(0)}{S(0)}. \quad (4.7)$$

Схема ВС на рис. 4.1 содержит центральный процессор с двумя каналами ввода/вывода, запуск заданий осуществляется в пакетном режиме. Схема является системой с центральным процессорным устройством, для которой коэффициенты посещения можно записать формулами (4.8):

$$\begin{aligned}
X(0) &= X(1) \cdot q(1,0); \\
X(1) &= X(0) + X(2) + X(3) + \dots + X(k); \\
&\dots \\
X(i) &= X(1) \cdot q(1,i); \\
V(1) &= \frac{1}{q(1,0)}; \\
&\dots \\
V(i) &= \frac{q(1,i)}{q(1,0)},
\end{aligned}
\tag{4.8}$$

где  $k$  - число устройств;  $X(i)$ - интенсивность выходного потока заданий с  $i$ - го устройства;  $V(i)$ - коэффициент посещения  $i$ -го устройства;  $q(i, j)$ - вероятность перехода задания от устройства  $i$  к устройству  $j$ .



**Рис. 4.1.** Схема вычислительной системы с одним процессором и двумя устройствами: 0 - система в целом; 1 - центральный процессорный элемент; 2 - магнитный диск, сервер; 3 - принтер, сервер

Коэффициент посещения  $i$ -го устройства можно выразить через количество заданий

$$C(i), \text{ покинувших } i\text{-ое устройство за период времени } T: \quad V(i) = \frac{X(i)}{X(0)} = \frac{C(i)}{C(0)}.$$

Из соотношения  $q(i, j) = \frac{C(i, j)}{C(i)}$  можно определить  $C(j) = \sum_i C(i) \cdot q(i, j)$ , где  $C(i, j)$  - количество заданий, покинувших  $i$  устройство и поступивших на  $j$  устройство за время  $T$ .

Поделив обе части на  $T$ , получим соотношение для интенсивности потоков:

$$X(j) = \sum_i X(i) \cdot q(i, j), \quad \text{затем, поделив повторно это соотношение на } X(0), \text{ получим:}$$

$$V(j) = q(0, j) + \sum_{i=1} V(i) \cdot q(i, j), \quad V(0) = 1.$$

Полученное уравнение имеет простое решение, если  $k$  величин из  $q(i, j)$  находятся в интервале  $0 < q(i, j) < 1$ , для  $j > 1$ . Данному условию соответствуют ВС с одним центральным

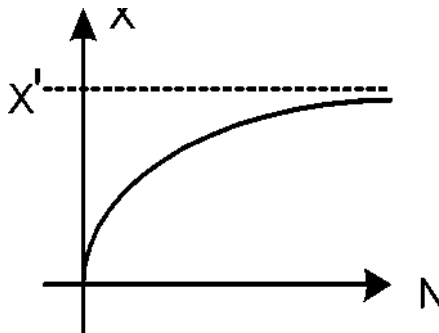
процессором, когда от остальных устройств возможен переход только к процессору, или локальные ВС с одним сервером и соединением типа “звезда”.

Выполняемое задание создает различные нагрузки для отдельных устройств ВС. С увеличением числа одновременно выполняемых заданий  $N_u$  всех устройств системы будет расти коэффициент использования  $U(i)$ . Среди  $i$ -х устройств может оказаться одно, у которого коэффициент использования может быть  $\sim 1$ . Это устройство будет создавать в системе основные задержки для выполнения заданий. Такое устройство называется насыщенным. У насыщенного устройства нагрузка  $U(d)$  будет максимальной среди нагрузок других устройств  $U(d) = \max(U(i))$ , т.е.  $V(d) \cdot S(d) \rightarrow \max(V(i) \cdot S(i))$ , среднее время занятости  $i$ -го устройства.

Интенсивность выходного потока заданий не может превысить величины

$$X' \leq \frac{1}{V(d) \cdot S(d)} .$$

Минимальное среднее время ответа можно получить с учетом того, что время выполнения одного задания не может быть больше среднего времени ответа одного устройства  $S(i) < R(i)$ , поэтому минимальное время ответа будет  $R''(i) = V(i) \cdot S(i)$ .



**Рис. 4.2.** Интенсивность выходного потока заданий

Это имеет место для числа одновременно выполняемых заданий (коэффициент мультипрограммирования равен  $N=1$ ). Интенсивность выходного потока заданий в зависимости от  $N$  отображается графиком, приведенным на рис. 4.2, и ограничит с величиной  $X$ .

*Пример 1*

По результатам измерений среднее время выполнения одного задания на ЭВМ составляет 2 мин ( $S(0) = 2$ ). Интенсивность потока запросов  $X(0) = 20$  запросов / ч =  $1/3$  1 / мин.

Провести операционный анализ работы вычислительной системы, оценить коэффициент использования системы (рис.4.1).

**Решение**

Рассмотрим работу ВС в течение времени  $T = 60$  мин, определим основные параметры системы.

$$X(0) = \frac{U(0)}{S(0)}, \quad X(0)S(0) = U(0), \quad U(0) = \frac{1}{3} \cdot 2 \cong 0,67 \text{ или } 67 \%.$$

Коэффициент использования ВС  $U(0)$  рассчитаем по (4.7)

Время обработки заданий равно  $B(0) = U(0) \cdot T = 0,67 \cdot 60 = 40$  (мин). Количество обработанных заданий за 60 мин  $C(0) = B(0)/S(0) = 40/2 = 20$ .

*Пример 2*

Провести операционный анализ работы устройств ВС: магнитного диска 2 и принтера 3 (см. рис. 4.1) при вероятности перехода задания от процессора 1 к магнитному диску 2, равной  $q(1,2) = 0,9$ , от процессора 1 к принтеру 3 -  $q(1,3) = 0,1$ . Оценить загрузку устройств системы.

**Решение**

По формулам (4.8) определим пропускную способность устройств  $X(i)$ ,  $i=2;3$  и коэффициенты посещения устройств  $V(2)$ ,  $V(3)$ :

$$X(1) = X(0) = 1/3; X(2) = X(1) q(1,2) = 1/3 \cdot 0,9 = 0,3 \text{ (1/мин)};$$

$$X(3) = X(1) q(1,3) = 1/3 \cdot 0,1 = 1/30;$$

$$V(1) = V(0) = 1; V(2) = q(1,2) / q(1,0) = 0,9/1 = 0,9;$$

$$V(3) = q(1,3) / q(1,0) = 0,1/1 = 0,1.$$

Времена обработки заданий в устройствах принимаем пропорциональными вероятностям перехода задания от процессора к устройствам:

$$B(1) = B(0) q(0,1) = 40 \cdot 1 = 40 \text{ мин};$$

$$B(2) = B(1) q(1,2) = 40 \cdot 0,9 = 36 \text{ мин};$$

$$B(3) = B(1) q(1,3) = 40 \cdot 0,1 = 4 \text{ мин}.$$

При этом коэффициент использования устройств составит:

$$U(1) = B(1)/T = 40/60 = 0,67;$$

$$U(2) = B(2)/T = 36/60 = 0,6;$$

$$U(3) = B(3)/T = 4/60 \approx 0,07.$$

#### **Задачи**

*Пример 4.2.1.* Провести анализ загрузки вычислительной системы и ее устройств (см. рис.4.1) при следующих данных: время выполнения одного задания 3 мин; интенсивность потока запросов 20 запросов/ч = 1/3 1/мин; время работы  $T = 60$  мин; вероятности перехода задания от процессора к устройствам  $q(1,2) = 0,95$ ,  $q(1,3) = 0,05$ .

*Пример 4.2.2.* Провести анализ влияния интенсивности потока запросов на загрузку вычислительной системы и ее устройств (см. рис. 4.1) при следующих данных: интенсивность потока запросов составляет 10, 20, 30 запросов/ч; время выполнения одного задания 2 мин; время работы  $T = 60$  мин; вероятности перехода задания от процессора к устройствам  $q(1,2) = 0,9$ ,  $q(1,3) = 0,1$ .

*Пример 4.2.3.* Провести анализ влияния времени выполнения одного задания на загрузку вычислительной системы и ее устройств (см. рис. 4.1) при следующих данных: интенсивность потока запросов 20 запросов/ч; время выполнения одного задания составляет 1; 2; 3 мин; время работы  $T = 60$  мин; вероятности перехода задания от процессора к устройствам  $q(1,2) = 0,9$ ,  $q(1,3) = 0,1$ .

#### **Контрольные вопросы**

1. Операторный метод оценки загрузки устройств ВС, в каких случаях он используется?
2. Как влияет интенсивность потока запросов на загрузку вычислительной системы и ее устройств?
3. Как влияет время выполнения одного задания на загрузку вычислительной системы и ее устройств?
4. Как определяется насыщенное устройство в ИС и на что оно влияет?
5. Что используется в качестве критерия производительности вычислительной системы и от чего он зависит?

### 4.3. Планирование проверок технического состояния информационных систем

В информационных системах с аппаратным контролем могут появляться ситуации, когда возникающие неисправности не могут обнаруживаться техническими средствами. В связи с этим возникает необходимость использования программного контроля. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся случаи, когда контролирующие программы включаются в заранее определенные моменты времени с периодичностью  $T_{\Pi}$ . Длительность процесса контроля составляет  $T_K$ .

Предположим, что поток отказов в аппаратуре имеет случайный характер и описывается экспоненциальным законом плотности распределения вероятности  $P(t) = \exp(-\lambda \cdot \Delta t)$ , где  $\lambda$  - интенсивность отказов аппаратуры;  $\Delta t$  - продолжительность времени работы системы.

ИС может находиться в следующих состояниях, которые будут характеризоваться событиями:

- 1)  $A$  - ИС работоспособна;
- 2)  $\bar{A}$  - неработоспособное состояние системы;
- 3)  $B$  - ИС используется в задачах принятия решений;
- 4)  $\bar{B}$  - система используется не по назначению в некоторый момент времени.

Каждое событие характеризуется потерями:

- 1)  $F(A, B) = 0$  - система работоспособна и используется по назначению, следовательно, потери в этой системе равны нулю;
- 2)  $F(A, \bar{B}) = A1$  - система работоспособна и проводится ее проверка.  $A1$  - потери на проверку работоспособности системы;
- 3)  $F(\bar{A}, \bar{B}) = A2$  - ремонт неисправной системы (в течение времени  $T_P$ ). Потери  $A2$  - затраты на восстановление системы;
- 4)  $F(\bar{A}, B) = A3$  - использование неработоспособной системы для принятия решений.  $A3$  - потери от ошибочных решений.

Принимаем, что в системе выполняется соотношение  $0 < A1 \leq A2 \leq A3$ .

Общие потери  $C(L)$  за большое число циклов работы системы  $L$  будут определяться выражением:

$$C(L) = L (T_K A1 \cdot \exp(-\lambda T_{\Pi}) + ((T_{\Pi} + T_K) A3 + T_P A2)(1 - \exp(-\lambda \cdot T_{\Pi})). \quad (4.9)$$

Продолжительность времени работы ИС за  $L$  циклов

$$t(L) = L ((T_{\Pi} + T_K) \exp(-\lambda T_{\Pi}) + (T_{\Pi} + T_K + T_P) (1 - \exp(-\lambda T_{\Pi})). \quad (4.10)$$

Средние потери в единицу времени получаются делением (4.9) на (4.10). Учитывая, что  $T_P \lambda \ll 1$  и что  $T_K \leq T_{\Pi}$  формула средних потерь принимает вид

$$\bar{C} \cong A1 \cdot T_K \cdot \left(\frac{1}{T_{\Pi}} + \lambda\right) + A2 \cdot T_P \cdot \lambda + A3 \cdot T_{\Pi} \cdot \lambda. \quad (4.11)$$

В этой формуле первое слагаемое учитывает затраты системного времени на контроль работоспособности. Второе слагаемое учитывает затраты на проведение ремонтных работ. Третье слагаемое отражает затраты, связанные с использованием неработоспособной системы.

Приравняв нулю, первую производную от (4.11) по  $T_{\Pi}$  получаем оптимальную периодичность проведения контроля:

$$T_{\Pi} = \sqrt{\frac{A1 \cdot T_{\text{К}}}{A3 \cdot \lambda}}. \quad (4.12)$$

При этом средние потери на проведение проверок технического состояния информационных систем будут минимальными и равными

$$\bar{C}_{\min} \cong 2\sqrt{A1 \cdot A3 \cdot T_{\text{К}} \cdot \lambda} - A1 \cdot T_{\text{К}} \cdot \lambda + A2 \cdot T_{\text{Р}} \cdot \lambda. \quad (4.13)$$

На практике сопоставить функции потерь  $A1$  и  $A3$  не всегда удается. Поэтому периодичность проверок выбирается из других соображений.

Вводится понятие относительных затрат системного времени на проведение проверок

$$\gamma = \frac{T_{\text{К}}}{T_{\Pi} + T_{\text{К}}}.$$

Периодичность проверок выбирается из соотношений

$$\frac{T_{\text{К}}}{\gamma^*} \leq T_{\Pi} + T_{\text{К}} \leq \frac{H^*}{\lambda} \quad \text{или} \quad (4.14)$$

$$\gamma^* \cdot H^* \geq T_{\text{К}} \cdot \lambda,$$

где  $\gamma^*$  - допустимые относительные затраты системного времени на проведение проверок;  $H^*$  - допустимая недостоверность работоспособности системы.

При задании одного из ограничений  $\gamma$  или  $H$  для обеспечения другому показателю минимального значения период проверок  $T_{\Pi}$  выбирается из условия (4.14).

*Пример*

Вероятность безотказной работы ИС в течение 500 ч. равна  $P(t=500) = 0,99$ . Провести анализ влияния периодичности проверок технического состояния ИС на потери. Известны потери при различных состояниях системы, тыс. руб./ч и время на организацию проверок, ч, (табл. 4.2).

Таблица 4.2.  
Исходные данные

A1	A2	A3	T <sub>к</sub>	T <sub>р</sub>	T
0,023	0,125	0,231	0,5	0,5	24



### Решение

Определим интенсивность отказов ИС из формулы вероятности безотказной работы системы при экспоненциальном законе распределения отказов:

$$P(t) = \exp(-\lambda \cdot T), \text{ откуда } \lambda = -\ln P(t)/T = -\ln(0,99)/500 = 2,01 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.}$$

Подставляя данные табл. 4.2 в формулу (4.13), вычислим средние потери в единицу времени на проведение проверок технического состояния информационной системы:  $C = 0,00059$  тыс. руб./ч.

По формуле (4.12) вычислим оптимальную периодичность проведения проверок ИС:  $T_{\text{п}}^* = 49,8$  ч. При этом средние потери в единицу времени на проведение проверок технического состояния информационной системы составят  $0,00046$  тыс. руб./ч, т.е. уменьшатся на 22 %.

### Задачи

*Пример 4.3.1.* Провести анализ влияния вероятности безотказной работы ИС на периодичность проведения проверок и величину потерь в процессе эксплуатации системы. Исходные данные для расчетов брать из табл. 4.2. Рассмотреть вероятности безотказной работы систем  $P(t=500)=0,99; 0,97; 0,95$ .

*Пример 4.3.2.* Провести анализ влияния потерь, связанных с проверкой работоспособности системы  $A1=0,02; 0,025; 0,03$  тыс. руб./ч. Исходные данные для расчетов брать из табл. 4.2.

*Пример 4.3.3.* Провести анализ влияния продолжительности проверок работоспособности ИС на периодичность проведения проверок и величину потерь в процессе эксплуатации системы. Исходные данные для расчетов брать из табл. 4.2. Рассмотреть продолжительность проверок работоспособности, равную  $T_{\text{к}}=0,5; 0,6; 0,7$  ч.

### Контрольные вопросы

1. Для чего проводятся проверки технического состояния информационных систем?
2. Критерии, используемые при планировании проверок технического состояния информационных систем.
3. Влияние безотказности работы ИС на периодичность проверок.
4. Влияние продолжительности проверок работоспособности ИС на периодичность проверок.

## Лабораторная работа №5. Оценка сложных систем в условиях риска

Операции, выполняемые в условиях риска, называются вероятностными. Соответствие между системами и исходами в вероятностных операциях нарушается. Это означает, что каждой системе (альтернативе)  $a$  ставится в соответствие множество исходов  $\{y_k\}$  с известными условными вероятностями появления  $p(y_k / a_i)$ . Например, из-за ограниченной надежности сетевого оборудования время передачи сообщения может меняться случайным образом по известному закону.

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

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

Из данного выражения как частный случай может быть получена оценка эффективности систем для детерминированных операций, если принять, что исход, соответствующий системе, наступает с вероятностью, равной единице, а вероятности остальных исходов равны нулю.

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

$$K(a_i) = \int_R f(y / a_i) F(y) dy,$$

где  $f(y/a_i)$  - плотность вероятностей исходов;  $R$ - допустимая область векторного пространства исходов.

Для оценки эффективности систем в вероятностной операции необходимо:

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

Критерий оптимальности для вероятностных операций имеет вид

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

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

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

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

Рассмотрим пример оценки эффективности систем в вероятностных операциях по приведенному критерию.

*Пример.* Оценка вариантов конфигурации гетерогенной локальной вычислительной сети общего пользования. Исследуемая операция - обмен сообщениями между пользователями, система - варианты размещения сетевого оборудования, показатель исхода операции - число переданных сообщений  $n_k$  (дискретная величина). Числовые данные для оценки приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Данные для оценки вычислительной сети

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

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

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

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

$$K_{opt} = \max \{K(a_1), K(a_2)\} = K(a_2) = 0,515.$$

Кроме оптимизации «в среднем» в вероятностных операциях используются и другие критерии оценки систем. Рассмотрение этих критериев составляет один из разделов теории принятия решений.

#### Задачи

Для представленных ниже вариантов рассчитать показатели и оценку эффективности по критерию превосходства

1.

$a_i$	$n_k$	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$
Вариант 1	85	0,5	0,3
	65	0,25	0,7
	45	0,25	0,2
Вариант 2	85	0,65	0,2
	65	0,25	0,45
	45	0,1	0,6
Вариант 3	85	0,4	0,15
	65	0,35	0,65
	45	0,25	0,2

2.

$a_i$	$n_k$	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$
Вариант 1	120	0,7	0,6
	80	0,1	0,6
	60	0,2	0,3
Вариант 2	120	0,5	0,4
	80	0,3	0,45
	60	0,2	0,4
Вариант 3	120	0,8	0,35
	80	0,05	0,5
	60	0,15	0,3

3.

$a_i$	$n_k$	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$
Вариант 1	60	0,4	0,15
	50	0,1	0,65
	40	0,5	0,2
Вариант 2	60	0,2	0,6
	50	0,3	0,6
	40	0,5	0,3
Вариант 3	60	0,6	0,2
	50	0,15	0,45
	40	0,25	0,6

4.

$a_i$	$n_k$	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$
Вариант 1	60	0,4	0,4
	50	0,1	0,45
	40	0,5	0,4
Вариант 2	60	0,65	0,6
	50	0,25	0,6
	40	0,1	0,3
Вариант 3	60	0,8	0,2
	50	0,05	0,45
	40	0,15	0,6

5.

$a_i$	$n_k$	$p(n_k/a_i)$	$F(n_k)$
Вариант 1	85	0,65	0,3
	65	0,25	0,7
	45	0,1	0,2
Вариант 2	85	0,4	0,2
	65	0,1	0,45
	45	0,5	0,6
Вариант 3	85	0,5	0,15
	65	0,25	0,65
	45	0,25	0,2

#### Контрольные вопросы

1. Для каких целей проводится оценка сложных систем?
2. Приведите вид критерия оптимальности.
3. Что такое функция полезности?
4. Как осуществляется оценка сложных систем в условиях риска на основе функции полезности?
5. Как определяется математическое ожидание при исходах с непрерывными значениями показателей?

## **Лабораторная работа № 6. Синтез информационных систем, решаемые задачи синтеза. Принципы синтеза систем**

### **Понятие, цели и задачи синтеза**

В отличие от анализа в исследовании заданной информационной системы, под синтезом понимается процесс создания новой системы путем определения ее рациональных или оптимальных свойств и соответствующих показателей.

Цели синтеза информационной системы:

- создание новой информационной системы 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 информационной системы заключаются в определении структуры и параметров системы исходя из заданных требований к значениям показателей эффективности ее функционирования, а также способов обеспечения целей функционирования системы.

Синтез, или структурный синтез, является центральным звеном создания информационной системы. Он включает следующие компоненты.

- а) Синтез структуры информационной системы:
  - 1) выбор числа уровней и подсистем (иерархии системы);
  - 2) выбор принципов организации, т.е. установление между уровнями правильных взаимоотношений (это связано с согласованием целей подсистем разных уровней, распределением прав и ответственности, созданием контуров принятия решений и др.);
  - 3) оптимальное распределение выполняемых функций между людьми и средствами вычислительной техники;
  - 4) выбор организационной иерархии.
- б) Синтез структуры системы передачи и обработки информации. В том числе:
  - 1) синтез структуры системы передачи и обработки информации;
  - 2) синтез структуры информационного комплекса (в том числе размещение абонентских пунктов).

Синтез представляет собой многошаговый итеративный процесс, включающий последовательное решение следующих основных задач:

- формирование замысла и цели создания информационной системы;
- формирование вариантов новой системы;
- приведение описаний вариантов системы во взаимное соответствие;
- оценка эффективности вариантов и принятия решения о выборе варианта новой системы;
- разработка требований к информационной системе;
- разработка программ реализации требований к информационной системе;
- реализация разработанных требований к информационной системе.

### **Решение задач синтеза информационной системы**

а) Формирование замысла и цели создания информационной системы. Замысел возникает на основании полученного задания, выделения недостатков существующей системы, появления практической потребности или новых научных достижений.

Результатами решения задачи формирования замысла и цели создания информационной системы должны быть:

- определение назначения информационной системы;
- постановка цели (целевой функции);
- определение задач системы;
- формулирование основной идеи создания системы;
- определение направлений разработки системы.

б) 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.

в) Приведение описаний варианта системы во взаимное соответствие.

Приведение описаний варианта системы во взаимное соответствие включает:

- сопоставление описаний (структурного, функционального, информационного, параметрического);
- устранение противоречий;
- объединение названных описаний.

На основании морфологического и функционального описания вычисляются (без требования совместимости) наиболее близкие из достижимых параметров, входящих в параметрическое описание. Здесь может быть два случая:

- требуемые значения параметров недостижимы;
- требуемые значения параметров достижимы порознь, но несовместимы.

В первом случае необходимы выдвижение идей, перестройка морфологии или функциональных возможностей, во втором - конструктивная перестройка. Функциональная недостаточность является исходным толчком для обнаружения коренного противоречия. 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.

г) Оценка эффективности вариантов и принятия решения о выборе варианта новой системы.

Решение данной задачи 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 эффективности системы, формируется исходный вариант значений показателей системы управления и производится повторный синтез системы, который приобретает каждый раз все большую определенность.

д) Разработка требований к информационной системе. 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  $w$ -мерном пространстве, которая должна быть достигнута при функционировании системы (величина  $n$  обуславливается количеством выделенных существенных свойств объекта).

Требования формируются в виде показателей (количественные) и характеристик (качественные). Как правило, требования задаются в виде ограничения на допустимые пределы значений показателей.

Требования разрабатываются в процессе решения всех перечисленных выше задач. Общие требования к системе документально оформляются, а затем уточняются отдельные требования к ее элементам, включая элементы, выделяемые при морфологическом (структурном), функциональном, информационном и параметрическом описании системы.

### **Принципы синтеза информационных систем**

Сформулированные задачи синтеза информационных систем имеют следующие особенности:

- высокую размерность, определяемую большим количеством и разнообразием показателей;
- наличие множества альтернативных показателей эффективности, по которым осуществляется поиск рационального решения;
- отсутствие приемлемых аналитических зависимостей и процедур для определения искомых показателей;
- значительную неопределенность исходных данных.

Исходя из этого поставленные задачи не могут быть эффективно решены с помощью известных методов одноуровневой оптимизации, использующих достаточно простые аналитические выражения для целевых функций, и требуют применения иных подходов на основе принципов декомпозиции многоуровневого моделирования, позволяющих снизить размерность решаемых задач, и многошаговых итеративных процедур выработки решений.

Рассмотрим единые принципы существования и действия сложных систем.

а) Принцип физичности и его постулаты: всякой системе (независимо от ее природы) присущи законы (закономерности), возможно, уникальные, определяющие внутренние причинно-следственные связи ее существования и функционирования. Принцип физичности включает несколько постулатов:



- постулат целостности. Сложная система должна рассматриваться как единое целое;

- постулат декомпозиции систем. Значения свойств (характеристик) синтезируемой системы определяются в ходе многоуровневой процедуры выработки решений, начиная с рассматриваемых в рамках системы более высокого ранга и кончая детальными свойствами (характеристиками) элементов (подсистем) синтезируемой системы;

- постулат автономности. С точки зрения постулата целостности разнообразие декомпозиции помогает выявлению системных свойств. С точки зрения постулата автономности большинство декомпозиций, а может быть все, кроме одной, отпадут.

б) Принцип моделируемости. Сложная система может быть представлена конечным множеством моделей, каждая из которых отражает определенную грань ее сущности.

Этот важный принцип дает возможность исследовать определенное свойство сложной системы при помощи одной или нескольких упрощенных (узкоориентированных) моделей.

## Лабораторная работа №7. Синтез иерархической структуры комплекса технических средств информационной системы

Сущностью структурного синтеза является разработка (создание, проектирование, совершенствование, реорганизация и организация) информационной 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 являются различные варианты разрабатываемых (совершенствуемых) структур информационных систем.

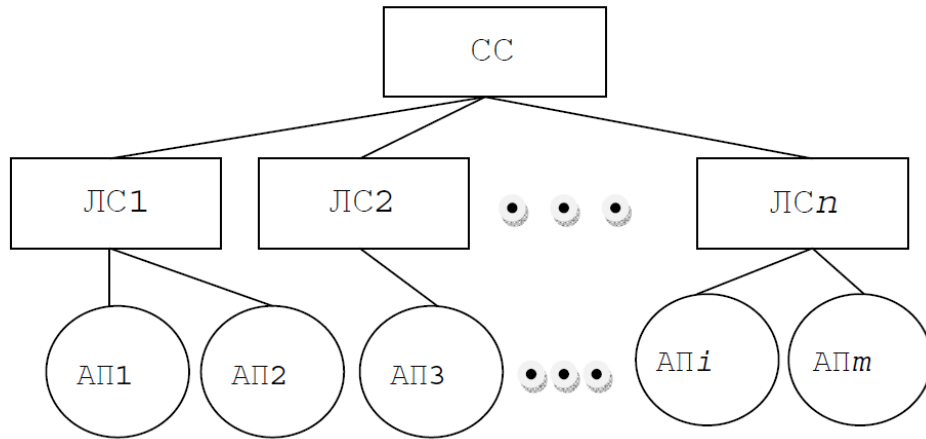
Рассмотрим модель оптимизации иерархической структуры комплекса технических средств (КТС).

Задана трехуровневая вычислительная сеть (ВС), приведенная на рис. 7.1. 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 локального сервера 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  $y_{jr} = \begin{cases} 1, & \text{если в пункте } j^* \text{ организуется СС } r\text{-го варианта,} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$ . (7.1)



**Рис.7.1.** Структурная схема КТС вычислительной сети

Для структуры комплекса технических средств с одним сетевым сервером (СС) справедливо ограничение

$$\sum_{j^*=1}^n \sum_{r=1}^l y_{j^*r}^0 = 1, \tag{7.2}$$

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 ЛС не должно превышать заданного числа  $p$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^l y_{jr} \leq p. \quad (7.3)$$

Ограничение в структуре заключается в том, что каждый абонент может подключаться только к одному локальному серверу

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} = 1, \quad (7.4)$$

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 1-м абонентом и  $j$ -м локальным сервером.

Допустим, что  $j$ -й ЛС, выполненный в  $g$ -м варианте, характеризуется эквивалентной вычислительной мощностью  $w_{jr}$  (размерность совпадает с  $y$ ).

Требуемые ресурсы  $j$ -го ЛС на обработку информации  $w_{jr}$  пропорциональны сумме требуемых пропускных способностей каналов передачи информации, соединяющих данный локальный сервер с абонентскими пунктами. Тогда суммарная мощность всех ЛС должна быть не менее

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq \sum_{r=1}^l w_{jr} y_{jr} \quad (j \in N), \quad (7.5)$$

$$\text{где } x_{ij} = \begin{cases} V_{ij}, & \text{если } i\text{-й АП соединен с } j\text{-м ЛС,} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (7.6)$$

Информация на сетевой сервер поступает от локального сервера по каналам передачи информации, с требуемой пропускной способностью  $V_{jj^*}$ . Требуемые ресурсы СС на обработку информации пропорциональны сумме требуемых пропускных способностей каналов передачи информации, соединяющих локальный сервер с сетевым сервером. Тогда необходимая мощность СС  $w^0$ , который может быть размещен в одном из  $n$  пунктов возможного размещения СС, должна быть не менее

$$\sum_{j=1}^n \sum_{j^*=1}^n x_{jj^*} \leq \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^l w_{jr}^0 y_{j^*r}^0, \quad (7.7)$$

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:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (C_{ij} + S_{ij}) x_{ij} + \sum_{j=1}^n \sum_{j^*=1}^n (C_{jj^*} + S_{jj^*}) x_{jj^*} + \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^l C_{jr} y_{jr} + \sum_{j^*=1}^n \sum_{r=1}^l C_{j^*r}^0 y_{j^*r}^0 \rightarrow \min . \quad (7.8)$$

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 сервере и сетевом сервере;

$C_{jr}, C_{j^*r}^0$ - капитальные затраты на реализацию  $r$ -го варианта соответственно локального сервера в  $j$ -м, а сетевого сервера в  $j^*$ -пунктах.

Первое слагаемое критерия 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

$$y_{ir}, y_{i^*r}, z_{jr}, x_{ij} = V_{ij} z_{ij}. \quad (7.9)$$

Для решения задачи можно использовать комбинаторные алгоритмы (аддитивный алгоритм Балаша) и др.

*Пример.* Синтезировать структуру 3-уровневой вычислительной сети (ВС) при следующих исходных данных: множество абонентских пунктов  $M = (АТО), i = 1, 2, 3, 4, 5$ ; множество пунктов размещения локальных серверов  $N = (НҚ), j = 1, 2, 3$ ; общее количество локальных серверов не должно превышать  $p = 2$ ; множество вариантов выполнения серверов  $r = 1$ .

Каждый абонент может подключаться только к одному локальному серверу. Сетевой сервер размещается в одном из пунктов размещения локального сервера.

Пропускная способность абонентских каналов передачи информации  $V$  приведена в табл. 7.1. Локальные серверы характеризуются вычислительной мощностью (в условных единицах), которая зависит от места расположения ЛС:  $w_1 = 9, w_2 = 7, w_3 = 15$ .

Пропускная способность каналов передачи информации от локального сервера к сетевому (в условных единицах) зависит от места их расположения и равна:  $v_{ij}^* = 10$ ,  $V_{22}^* = 20$ .

Мощность сетевого сервера зависит от выбора места расположения и равна (в условных единицах)  $w_1^0 = 30$ ,  $w_2^0 = 20$ ,  $w_3^0 = 25$ .

Распределить абонентские пункты между локальными серверами, определить пункты расположения локальных серверов и место расположения сетевого сервера по минимуму эксплуатационных и капитальных затрат ВС (7.8). Приведенные эксплуатационные затраты на обмен информацией по каналам связи  $C_j$ ,  $C_{jj}^*$ , на обработку информации в серверах  $S_j$ ,  $S_j^*$ , приведенные капитальные затраты на реализацию серверов в различных пунктах расположения  $C_{jr}$ ,  $C_{jr}^0$  даны в табл. 7.2 - 7.6.

Задачу решаем методом перебора. Оценим число возможных вариантов перебора решений задачи, используя формулу вычисления числа сочетаний  $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$ . Число вариантов подключения 5 АП к локальным серверам равно  $C_5^1 + C_5^2 + C_5^3 + 2C_5^5 = 32$ . Число вариантов размещения 2 ЛС по 5 адресам равно:  $C_5^2 = 10$ . Число вариантов размещения одного СС по двум адресам равно:  $C_2^1 = 2$ .

Фактическое число перебора вариантов ограничивается необходимостью согласования мощностей локальных серверов, располагаемых по адресам, и мощностей абонентских пунктов (7.5).

Таблица 7.1

Пропускная способность каналов  $V_{ij}^*$

$i \setminus j$	1	2	3
1	3	3	3
2	5	5	5
3	4	4	4
4	4	4	4
5	5	5	5

Таблица 7.4

Затраты  $S_{ij}$

$i \setminus j$	1	2	3
1	1,5	2	2,5
2	2,5	3	3,5
3	3	2,5	2
4	3	2,5	2
5	3	2,5	2,5

Таблица 7.2

Затраты  $C_{ij}$

$i \setminus j$	1	2	3
1	3	4	5
2	5	6	7
3	6	5	4
4	6	5	4
5	6	5	5

Таблица 7.5

Затраты  $S_{ij}^*$

$j \setminus i^*$	1	2	3
1	4,5	5	5,5
2	4	3,5	4,5
3	7,5	8	8

Таблица 7.3

Затраты  $C_{jj}^*$

$j \setminus j^*$	1	2	3
1	9	10	11
2	8	7	9
3	15	16	16

Таблица 7.6

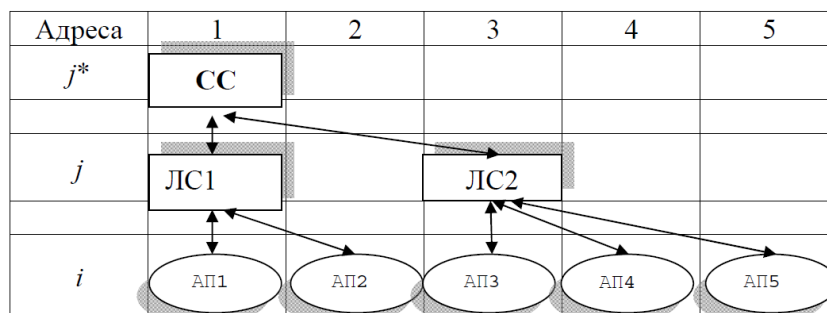
Затраты  $C_{jr}$  и  $C_{jr}^0$ ,  $r=1$

$j$	1	2	3
$C_{jr}, r=1$	9	10	15
$C_{jr}^0, r=1$	24	23	25

К первому локальному серверу мощностью  $w_1 = 9$ , расположенному по адресу  $j = 1$ , можно подключить АП1 и АП2:  $x_{1,1} = 3$ ,  $x_{2,1} = 5$ , т.к.  $(3+5) < 9$ .

Ко второму локальному серверу, расположенному по адресу  $j = 3$ , мощностью  $W_3 = 15$  можно подключить остальные АП:  $x_{33} = 4, x_{43} = 4, x_{53} = 5$ , т.к.  $(4+4+5) < 15$ .

Сетевой сервер размещаем по адресу  $j^*=1$  с учетом согласования его мощности  $w_1^0 = 30$  (в условных единицах) с мощностями подключаемых ЛС1  $w_1 = 9$  и ЛС2  $w_3 = 15$  (2.7):  $(9+15) < 30$ . Структурная схема разработанной вычислительной сети приведена ниже



**Рис. 7.2.** Структурная схема вычислительной сети

*Варианты заданий к практическим занятиям*

Варианты заданий приведены в табл. 7.7. Вариант выполнения серверов принять равным  $r = 1$ .

Таблица 7.7.

Варианты заданий разработки структурных схем ВС

Номер варианта	Множество абонентских пунктов $M = (АПi), i = 1, 2, 3, 4, 5$	Множество пунктов размещения локальных серверов $N = (ЛСj), j = 1, 2, 3$	Количество локальных серверов
1	$i = 1, 2, 3, 4, 5$	$j = 1, 2, 3$	3
2	$i = 1, 2, 3, 4$	$j = 1, 2, 3$	2
3	$i = 1, 2, 3, 5$	$j = 1, 2, 3$	2
4	$i = 1, 2, 4, 5$	$j = 1, 2, 3$	2
5	$i = 1, 3, 4, 5$	$j = 1, 2, 3$	2
6	$i = 2, 3, 4, 5$	$j = 1, 2, 3$	2
7	$i = 2, 3, 4, 5$	$j = 1, 2, 3$	3
8	$i = 1, 3, 4, 5$	$j = 1, 2, 3$	3

**Контрольные вопросы**

1. Что понимается под синтезом информационных систем? Цели синтеза информационной системы.
2. Какую последовательность решения задач включает структурный синтез?
3. Какими моделями описывается процесс формирования каждого варианта новой информационной системы?
4. Особенности задач синтеза информационных систем.
5. Принципы существования и действия сложных информационных систем?
6. В чем сущность структурного синтеза информационной системы и его цель?

## Лабораторная работа №8. Синтез функциональной структуры информационной системы

Синтез функциональной структуры информационной системы (ИС) включает в себя распределение решаемых задач (операций управления) по подсистемам и уровням организационной структуры. Наиболее распространенный количественный критерий объединения решаемых организацией задач в подсистемы 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, которым обмениваются подсистемы, значительно сокращается. Благодаря этому уменьшается время, затрачиваемое на обмен информацией, упрощается координация деятельности подсистем.

Решаемые задачи (операции) связаны между собой. Связь операций удобно представить графом  $\Gamma^1(E, H^1)$  без петель, множество вершин которого  $E$  соответствует задачам  $e_1, e_2, \dots, e_n$ , а каждая дуга  $h^{ij}$  множества  $H^1$  указывает на то, что выход операции  $e_i$  является входом операции  $e_j$ .

Задача синтеза функциональной структуры состоит в разбиении множества операций  $E$  на  $n$  независимых подмножеств:

$$E_1, E_2, \dots, E_n, \quad (8.1)$$

где  $E_i \in E$  и  $E_i \cap E_j = 0$  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

$$\sum_{i=1}^n C(E_i) \rightarrow \min, \quad (8.2)$$

где  $C(E_i)$  – функция, определенная на множестве разбиений  $E_i, i = 1, 2, \dots, n$ .

Разбиение системы  $E$  на подмножества  $E_1, E_2, \dots, E_n$  может проводиться при различных критериях разбиения. При этом близость операции  $e_i$  к  $e_j$  будем характеризовать величиной  $m_{ij}$ , где  $m_{ij}$  – значение потока по дуге  $h_{ij}$  графа  $\Gamma^1$ , измеряемое объемом информации или количеством связей.

Можно выделить два принципа декомпозиции:

- 1) разложение переменных;
- 2) разложение ограничений.

Разложение систем на несколько относительно автономных подсистем приводит к необходимости создания координирующего органа. Формальными способами воздействия координирующего органа могут служить плата за взаимодействие, фиксирование взаимодействий, оценки и предсказания взаимодействий.

Рассмотрим матричную модель производственной системы, представленную ресурсным графом  $G^2 = (E \cup V, H^2)$ , в котором  $E$  - множество видов продукции,  $V$  - множество вершин, представляющее источники ресурсов,  $H^2$  - множество дуг. Каждая дуга  $h_{ki}^2$  показывает, что для изготовления  $e_i$  продукции требуются ресурсы  $k$ -го типа  $V_k$ . Используемые ресурсы в системе ограничены

$$AX \leq U; \quad X \geq 0, \quad (8.3)$$

где  $A$  - матрица затрат ресурсов ( $a_{ki}$  - затраты ресурса  $k$ -го вида на изготовление продукции  $i$ -го вида);

$X$  - вектор-столбец, множество видов выработанной продукции ( $x_i$  - количество выработанной продукции  $i$ -го вида);

$U$  - вектор-столбец с ресурсными ограничениями;

$C$  - вектор-строка стоимости продукции (или прибыли).

Задача состоит в том, чтобы получить разбиение, которое максимизирует функцию

$$CX \rightarrow \max. \quad (8.4)$$

Дана квазиблочная матрица:

$$\left| \begin{array}{c|c} A_1 & A_i \\ \hline A_k & a_{ki} \\ \hline A_2 & \end{array} \right| * \left| \begin{array}{c} x_1 \\ x_i \\ x_2 \end{array} \right| \leq \left| \begin{array}{c} u_1 \\ u_k \\ u_2 \end{array} \right|, \quad (8.5)$$

где  $A_1, A_2, A_k$  и  $A_i$  - подматрицы (блоки) 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, воспользуемся принципом разложения переменных. Поэтому принципу подразделения минимизируемой структуры объединяются в соответствии с типом используемых ими ресурсов (т.е. по функциональному признаку). При декомпозиции применяется разложение переменных  $x_i$  на  $x_i'$  и  $x_i''$ . Получаются два независимых подразделения: первое оптимизирует  $x_i$  и  $x_i'$

$$\left| \begin{array}{c|c} A_1 & A_i \\ \hline A_k & a_{ki} \\ \hline A_2 & \end{array} \right| * \left| \begin{array}{c} x_1 \\ x_i' \\ x_2 \end{array} \right| \leq \left| \begin{array}{c} u_1 \\ u_k \\ u_2 \end{array} \right|, \quad (8.6)$$

второе -  $x_2$  и  $x_i''$  при ограничениях

$$\left| \begin{array}{c|c} a_k & A_k \\ \hline 0 & A_2 \\ \hline \end{array} \right| * \left| \begin{array}{c} x_i'' \\ x_2 \end{array} \right| \leq \left| \begin{array}{c} u_k \\ u_2 \end{array} \right|. \quad (8.7)$$

Координирующий орган воздействует на подсистемы таким образом, чтобы



$$x_i' + x_i'' = x_i. \quad (8.8)$$

Иллюстрацией модели систем (3.3) и (3.4) может служить управляющий орган, выполняющий функцию планирования, формализуемую в виде задачи линейного программирования, имеющую матрицу условий рассматриваемого вида, например, задач планирования выпуска продукции предприятием.

Пример 8.1 Дана квазиблочная матрица (8.5), состоящая из блоков

$A_1, A_2, A_k$  и  $A_i$ . Разделить матрицу  $A$  на две независимые подматрицы  $[A_1 \ A_i]$  и  $\begin{bmatrix} A_k & a_{ki} \\ 0 & A_2 \end{bmatrix}$  где:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 5 & 1 & 0 & 0 & 5 \\ 3 & 5 & 3 & 5 & 1 \\ 1 & 2 & 5 & 3 & 3 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 10 & 8 & 10 & 0 \\ 9 & 11 & 0 & 9 \\ 8 & 0 & 12 & 8 \\ 0 & 9 & 8 & 13 \end{bmatrix} \quad A_k = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 4 & 3 \end{bmatrix}$$

$$A_i = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 3 \end{bmatrix} \quad a_k = \begin{bmatrix} 6 & 8 & 7 & 9 \end{bmatrix} \quad U_1 = \begin{bmatrix} 100 \\ 200 \\ 300 \end{bmatrix} \quad U_2 = \begin{bmatrix} 700 \\ 500 \\ 500 \\ 600 \end{bmatrix} \quad U_k = \begin{bmatrix} 100 \\ 400 \end{bmatrix}$$

Множество видов продукции, подлежащее производству двумя цехами предприятия, представлено транспонированными матрицами:

$$x_1^T = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} \end{bmatrix}$$

$$x_i^T = \begin{bmatrix} x_{i1} & x_{i2} & x_{i3} & x_{i4} & x_{i5} & x_{i6} \end{bmatrix}$$

$$x_2^T = \begin{bmatrix} x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} \end{bmatrix}.$$

Стоимость производимой продукции задана вектор-строками:

$$C_1 = \begin{bmatrix} 10 & 15 & 20 & 25 & 10 \end{bmatrix}$$

$$C_i = \begin{bmatrix} 10 & 15 & 20 & 40 & 30 & 25 \end{bmatrix}$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} 5 & 15 & 25 & 35 \end{bmatrix}.$$

Максимальное значение стоимости выпускаемой продукции (3.4) должно достигаться за счет оптимального планирования выпуска продукции  $x_1, x_i, x_2$  двумя цехами. При этом должны выполняться ограничения (3.5), накладываемые запасами сырья:

$A_1$					$A_2$					
5	1	0	0	5	4	0	1	1	0	0
3	5	3	5	1	1	4	0	4	0	0
1	2	5	3	3	0	1	4	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$a_{ki}$			
1	2	0	0
4	3	6	8
10	8	10	0
9	11	0	9
8	0	12	8
0	9	8	13

$x_1$			
$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$
$x_{15}$	$x_{i1}$	$x_{i2}$	$x_{i3}$
$x_{i4}$	$x_{i5}$	$x_{i6}$	$x_{21}$
$x_{22}$	$x_{23}$	$x_{24}$	

100	$u_1$
200	
300	
100	$u_k$
400	
700	$u_2$
500	
500	
600	

Для разделения матрицы  $A$  на две независимые подматрицы координирующий орган должен распределить выпуск продукции  $x_1$  по двум цехам таким образом, чтобы выполнялось соотношение (8.8).

При этом суммарная стоимость выпускаемой продукции двумя цехами должна быть максимальной.

Рассмотрим случай координации планирования выпуска продукции, таким образом, при котором первый цех будет выпускать часть продукции  $x_i'$ , а второй -  $x_i''$ , при котором:

$$x_i' = \begin{matrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ x_{i3} \\ x_{i4} \end{matrix} \quad x_i'' = \begin{matrix} x_{i5} \\ x_{i6} \end{matrix}$$

Получаются две независимые задачи математического программирования: первая оптимизирует  $x_1$  и  $x$  при ограничениях (8.6):

5	1	0	0	5	4	0	1	1
3	5	3	5	1	1	4	0	4
1	2	5	3	3	0	1	4	0

$x_{11}$
$x_{12}$
$x_{13}$
$x_{14}$
$x_{15}$
$x_{i1}$
$x_{i2}$
$x_{i3}$
$x_{i4}$

100
200
300

Критерий оптимизации, отражающий стоимость выпускаемой продукции первым цехом, должен быть максимальным:

$$C_1 = 10x_{11} + 15x_{12} + 20x_{13} + 25x_{14} + 10x_{15} + 10x_{i1} + 15x_{i2} + 20x_{i3} + 40x_{i4}$$

В результате решения первой задачи целочисленного программирования (при целочисленных данных  $x$ ) получили следующий план производства продукции первым цехом:

$$x_1^T = (0, 0, 12, 0, 0), \quad x_i' = (0, 0, 59, 41)$$

При этом стоимость выпускаемой продукции первым цехом составит  $C_1 = 3060$  усл. д.е.

Вторая задача оптимизирует производство товаров  $x_2$  и  $x_i''$  при ограничениях (8.7):

1	2	0	0	0	0	*	$x_{i5}$	≤	100
4	3	6	8	7	9		$x_{i6}$		400
0	0	10	8	10	0		$x_{21}$		700
0	0	9	11	0	9		$x_{22}$		500
0	0	8	0	12	8		$x_{23}$		500
0	0	0	9	8	13		$x_{24}$		600

Критерий оптимизации, отражающий стоимость выпускаемой продукции вторым цехом, должен быть максимальным:

$$C_1 = 30 x_{i5} + 25 x_{i6} + 5 x_{21} + 15 x_{22} + 25 x_{23} + 35 x_{24}.$$

В результате решения второй задачи целочисленного программирования (при целочисленных данных  $x$ ) получили следующий план производства продукции вторым цехом:

$$x_i'' = (1, 99), \quad x_2 = (0, 0, 0, 22).$$

При этом стоимость выпускаемой продукции вторым цехом составит

$$C_2 = 3275 \text{ усл. д.е.}$$

Общая стоимость выпускаемой продукции предприятием равна

$$C_1 + C_2 = 3060 + 3275 = 6335 \text{ усл. д.е.}$$

#### Варианты заданий к практическим занятиям

Составить план производства продукции предприятия, обеспечивающий максимальную стоимость выпускаемой продукции при имеющихся ограничениях запаса сырья за счет оптимального планирования производства продукции  $x_i' + x_i'' = x_i$  двумя цехами предприятия. Возможное число вариантов плана  $C_6^2 = 6! / \{2!(6-2)!\} = 15$ .

Варианты заданий даны в табл. 8.1.

Таблица 8.1.

#### Варианты заданий для решений

Варианты задания	Планирование производства цехами	
	Первый цех	Второй цех
1	$x_1, x_{i1} - x_{i4}$	$x_{i5}, x_{i6}, x_2$
2	$x_1, x_{i1} - x_{i3}, x_{i6}$	$x_{i4}, x_{i5}, x_2$
3	$x_1, x_{i1} - x_{i3}, x_{i5}$	$x_{i4}, x_{i6}, x_2$
4	$x_1, x_{i2} - x_{i4}, x_{i5}$	$x_{i1}, x_{i6}, x_2$
5	$x_1, x_{i2} - x_{i4}, x_{i6}$	$x_{i1}, x_{i5}, x_2$

Для указанного варианта разработать план выпуска продукции с учетом ограничений, накладываемых производственными мощностями цехов. Цех не может выпускать более 20 штук изделий каждого вида в планируемый период времени.

Сопоставить результаты решений планирования производства без учета и с учетом производственных мощностей.

#### Решение задачи оптимального распределения функций по подсистемам АСУ

При определении оптимального распределения функций по подсистемам АСУ исходными являются:

- 1) выполняемые системой функции, формализованные в виде множества решаемых задач;

- 2) множество возможных алгоритмов решения задач;
- 3) множество подсистем АСУ;
- 4) потребность в вычислительных ресурсах по всем задачам и алгоритмам решения.

Задача выбора оптимальной структуры ставится как нелинейная задача математического программирования

$$\begin{aligned}
 &F_0(x_{ijk}) \rightarrow \min; \\
 &F_n(x_{ijk}) \leq B_n \quad n=1, 2, \dots, m; \\
 &\sum_{jk} x_{ijk} = 1 \quad (i=1, 2, \dots, n).
 \end{aligned}
 \tag{8.9}$$

где  $x_{ijk}$  - булева переменная, равна единице, если функциональная задача  $i$  решается с помощью алгоритма  $k$  в  $j$ -й подсистеме, и равна нулю в противном случае;

$F_0$  - критериальная функция, определяет требуемые вычислительные ресурсы для решения заданного множества задач в АСУ;

$F_n$  - ограничения вычислительных ресурсов, выделенных для подсистем.

Модель позволяет учитывать такие характеристики эффективности вариантов структуры системы, как стоимость, оперативность, надежность и др. Разработанные методы дают решение задачи синтеза структуры АСУ в случае аддитивных функций. Оптимальную структуру определяют при ограничениях на ресурсы, загрузку ТС, на своевременное решение задач и т.д.

*Пример 8.2.* Определить оптимальное распределение задач по подсистемам АСУ при исходных данных, приведенных в табл. 8.2 и 8.3. В качестве критерия выбрать суммарную величину требуемых вычислительных ресурсов.

Таблица 8.2.

Варианты решения задач разными алгоритмами

$k$	$i_1$	$i_2$	$i_3$	$i_4$	$i_5$
$k_1$	1	0	1	0	0
$k_2$	0	1	1	0	0
$k_3$	0	0	0	1	0
$k_4$	1	1	0	0	0
$k_5$	0	0	0	1	1
$k_6$	0	0	1	0	1
$k_7$	0	1	0	0	1

Таблица 8.3.

Ресурсная матрица

$k$	$j_1$	$j_2$	$j_3$
$k_1$	500	200	700
$k_2$	600	1000	400
$k_3$	600	700	500
$k_4$	300 <sup>2</sup>	400	500
$k_5$	200 <sup>45</sup>	1000	600
$k_6$	1000	400	1000
$k_7$	600	1000	1000

Задачи аддитивные, при этих условиях минимальное значение критерия достигается при выборе по ресурсной матрице подсистем, в которых реализация выбранного алгоритма решения задачи требует минимальных вычислительных ресурсов.

Задача решается с использованием методов целочисленного программирования с булевыми переменными  $i, k, j$ . В рассматриваемом примере решение получено методом перебора (табл. 8.4).

Таблица 8.4.

## Результаты решения задачи 8.2

Задача	Алгоритм решения	Подсистема	Требуемые ресурсы
$i_1$	$k_1$	$j_2$	200
$i_2$	$k_4$	$j_1$	300
$i_3$	$k_1$	$j_2$	200
$i_4$	$k_5$	$j_1$	200
$i_5$	$k_5$	$j_1$	200
Итого:	-	-	1100

### Задание к самостоятельной работе

Определить оптимальное распределение задач из примера 8.2 при дополнительных ограничениях:

- в подсистемах не может быть больше двух задач;
- задачи  $i_1$  и  $i_2$  должны быть в одной подсистеме;
- задачи  $i_2$  и  $i_3$  должны решаться с использованием одного и того же алгоритма и находиться в одной подсистеме.

### Контрольные вопросы

1. Каковы задачи синтеза функциональной структуры системы?
  2. Какие критерии объединения в подсистемы решаемых организацией задач вы можете назвать?
  3. Синтез функциональной структуры на графовых моделях.
  4. Разбиение системы  $E$  на подмножества  $E_i$ . Перечислите принципы декомпозиции.
  5. Квазиблочная матрица, принципы разбиения ее на несвязанные блоки.
  6. Каково влияние производственных мощностей на планирование выпуска продукции и величину стоимости выпускаемой продукции?
- Сформулируйте задачи оптимального распределения функций по подсистемам АСУ.

## Лабораторная работа №9. Модели и моделирование информационных систем

### Принципы и подходы к построению моделей систем.

#### Этапы построения моделей

В современных исследованиях очень широко используются методы моделирования. 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, изучать их поведение при изменениях параметров внешней и внутренней среды.

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

Особенностью модели является то, что она находится всегда в определенном отношении с реальным объектом. Это значит, что она до определенных пределов может замещать изучаемый объект. И 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» от второстепенного, случайного, преходящего. 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. 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.

Модель изучаемой системы в самом общем виде можно представить в виде зависимости

$$E = f(X, Y). \quad (9.1)$$

где  $E$  - некоторый количественный показатель эффективности системы в плане достижения цели ее существования, будем называть его критерием эффективности;

$X$  - управляемые переменные системы - те, на которые мы можем воздействовать, или управляющие воздействия;

$Y$  - неуправляемые, внешние по отношению к системе воздействия; их иногда называют состояниями природы.

Заметим, прежде всего, что возможны ситуации, в которых нет никакой необходимости учитывать состояния природы. Так, например, решается стандартная задача размещения запасов нескольких видов продукции и при этом можем найти  $E$  вполне однозначно, если известны значения  $X$  и, кроме того, некоторая информация о свойствах анализируемой системы.

В таком случае принято говорить о принятии управляющих решений или о стратегии управления в условиях определенности.

Если же с воздействиями окружающей среды, с состояниями природы мы вынуждены считаться, то приходится управлять системой в условиях неопределенности или, еще хуже, при наличии противодействия.

При построении моделей руководствуются следующими принципами:

- адекватности;
- соответствия модели решаемой задаче;
- упрощения при сохранении существенных свойств;
- соответствия между точностью и сложностью модели;
- баланса погрешностей;
- многовариантности реализаций элементов модели;
- блочного строения.

Этапы построения математических моделей приведены на рисунке 9.1. Для уменьшения сложности разработанной модели можно пользоваться следующими рекомендациями:

- изменение числа переменных;
- изменение природы переменных;
- изменение функциональной зависимости между переменными;
- изменение ограничений;
- ограничение точности моделей и др.

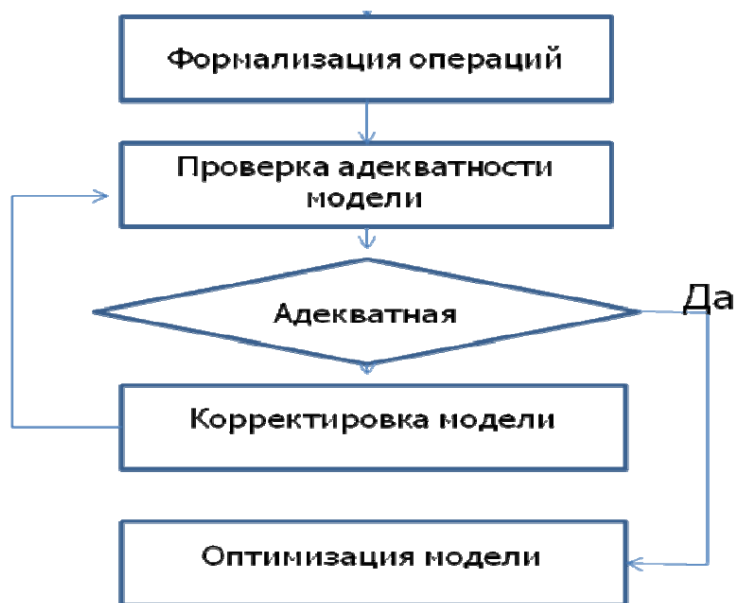


Рис.9.1. Этапы построения математических моделей.

В качестве примера приведем модель структуры общего менеджмента предприятия (Рис.9.2).



**Рис.9.2.** Модель структуры общего менеджмента предприятия.

### **Моделирование информационных систем. Принципы и последовательность моделирования**

Моделирование - это замещение исследуемого объекта (оригинала) его условным образом или другим объектом (моделью) и изучение свойств оригинала путем исследования свойств модели.

Использование математических моделей может быть весьма эффективным в проведении исследования информационных систем, 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, когда отработана методология работы с моделями.

Целями моделирования являются проверка разных аспектов функционирования системы, ее устойчивости по отношению к внешним факторам и оценка эффективности (по функциональному и физическому критерию) ее функционирования в разных условиях работы. Отработка модели включает создание всего оценочного аппарата. Моделирование позволяет повысить эффективность системы (по физическому критерию) путем дополнительного изменения ее морфологии и функциональных свойств. На основании результатов моделирования делается вывод о переходе к следующему этапу разработки системы или уточнения требований.

При моделировании систем необходимо выполнять следующие принципы:

- осуществимости;
- параметризации;
- информационной достаточности;
- множественности;



- принцип агрегирования.

Постановка любой задачи заключается в том, чтобы перевести ее словесное (вербальное) описание в формальное.

Аналитическое моделирование основано на косвенном описании моделируемого объекта с помощью математических формул. Рассмотрим пример моделирования вычислительного процесса с использованием аналитического описания.

### Моделирование вычислительных процессов и обслуживания вычислительных задач

Процесс обработки данных в информационной технологии преследует определенную цель - решение с помощью ЭВМ вычислительных задач, отображающих функциональные задачи той системы, в которой ведется управление. Для реализации этой цели должны существовать модели обработки данных, соответствующие алгоритмы управления и воплощенные в машинных программах. При организации и планировании процесса обработки данных в вычислительной системе (ВС) возможны различные методы организации и обслуживания очередей заданий. При этом преследуется цель получения лучших значений таких показателей, как производительность, загруженность ресурсов, малое время простоя, высокая пропускная способность, разумное время ожидания в очереди заданий.

В вычислительной системе моменты появления заданий считаются случайными и случайным является момент окончания вычислительной обработки. Поэтому при проектировании 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 ВП с помощью теории систем массового обслуживания. ОВП можно представить схемой, приведенной на рис. 9.3.

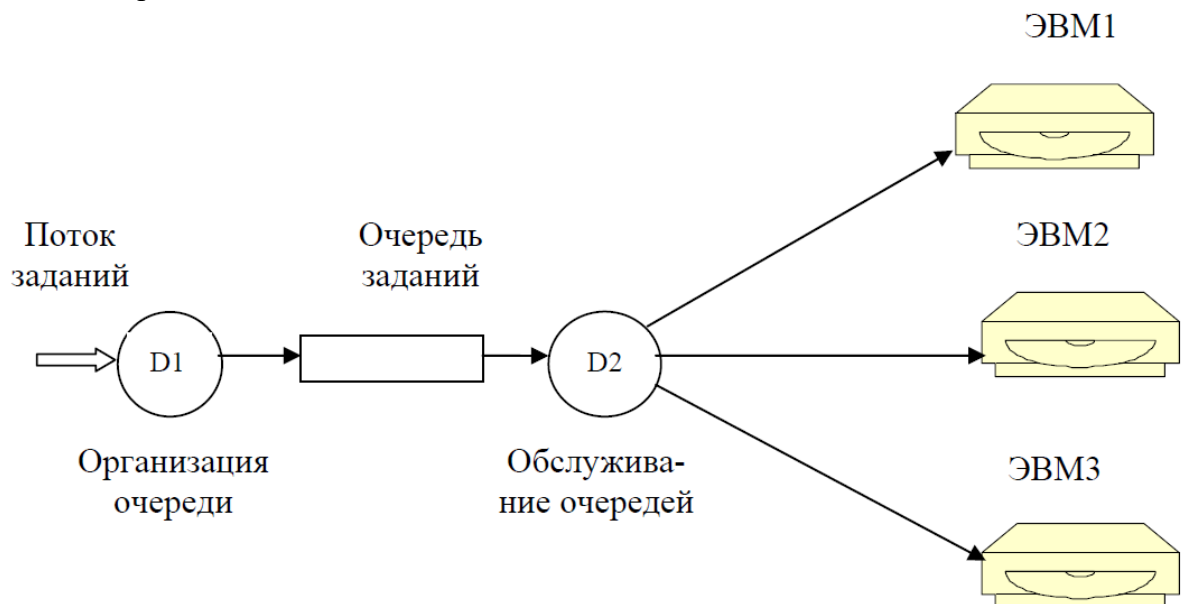


Рис.9.3. Организация обслуживания заданий в многомашинной ВС.

Такая схема может быть охарактеризована как система с дискретными состояниями и непрерывным временем. Под дискретным состоянием понимается то, что в любой момент времени система может находиться только в одном состоянии. Число состояний ограничено. Под непрерывным временем подразумевают, что границы перехода из одного

состояния в другое не фиксированы. Состояние системы характеризуется числом заданий в очереди плюс число заданий, обрабатываемых ЭВМ. Очередь уменьшается, когда ЭВМ заканчивает обработку задания. Число заданий в системе растет благодаря потоку заданий.

Поток заданий характеризуется интенсивностью  $X$  - средним количеством заданий, поступающим в единицу времени. Среднее время обслуживания одного задания ЭВМ определяет интенсивность потока обслуживания  $\mu$

$$\mu = 1/t_{\text{обсл}}, \quad (9.2)$$

где  $t_{\text{обсл}}$  - среднее время обработки одного задания.

Рассмотрим модель обслуживания вычислительных заданий (см. рис. 9.3), введя следующие предположения:

- в системе протекают марковские случайные процессы;
- потоки событий (появление заданий, окончание их обработки) являются простейшими;
- число заданий в очереди не ограничено, но конечно.

Случайный процесс, протекающий в системе, называется марковским. Простейший поток событий характеризуется стационарностью (независимость параметров во времени), ординарностью (события в потоке появляются поодиночке) и «беспоследствием» (появляющиеся события не зависят друг от друга).

Обозначим состояния рассматриваемой системы:

$S_0$  - в системе нет заданий;

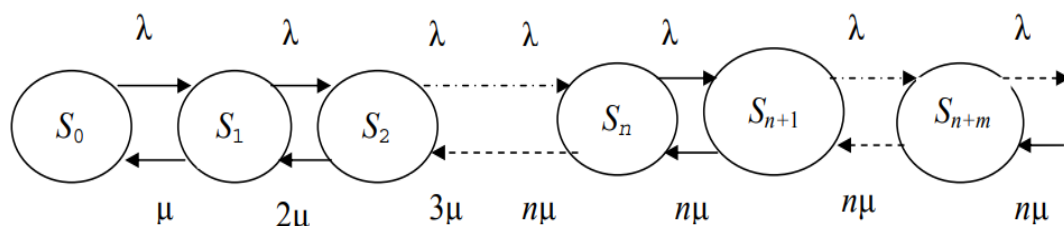
$S_1$  - в системе одно задание и оно обрабатывается на ЭВМ1;

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

$S_{n+1}$  - в системе  $(n+1)$  задание,  $n$  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 рисунке 9.4.



**Рис.9.4.** Граф состояний многоканальной системы обслуживания с неограниченной очередью.

Дискретная система в любой момент времени может находиться только в одном состоянии, поэтому

$$\sum_{i=1}^k P_i(t) = 1, \quad (9.3)$$

где  $k$  - число возможных состояний системы.

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. 9.4) может быть записана следующая система алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned}
 \lambda P_0 &= \mu P_1; \\
 (1\mu + \lambda)P_1 &= \lambda P_0 + 2\mu P_2; \\
 (2\mu + \lambda)P_2 &= \lambda P_1 + 3\mu P_3; \\
 &\dots\dots\dots \\
 (n\mu + \lambda)P_n &= \lambda P_{n-1} + n\mu P_{n+1}; \\
 (n\mu + \lambda)P_n &= \lambda P_{n-1} + n\mu P_{n+1}; \\
 (n\mu + \lambda)P_{n+1} &= \lambda P_n + n\mu P_{n+2}; \\
 &\dots\dots\dots \\
 (n\mu + \lambda)P_{n+j} &= \lambda P_{n+j-1} + n\mu P_{n+j+1}; \quad j \geq 1.
 \end{aligned} \tag{9.4}$$

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

$$\begin{aligned}
 P_0 &= \left( 1 + \sum_{i=1}^n \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \right)^{-1}, \\
 P_i &= \frac{\rho^i}{i!} P_0, \quad i=1,2,\dots, n, \\
 P_{n+j} &= \frac{\rho^{n+j}}{n^n} P_0, \quad j=1,2,\dots, m,
 \end{aligned} \tag{9.5}$$

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

Основными показателями эффективности работы системы являются:

- среднее число занятых каналов (ЭВМ)

$$\bar{k} = \frac{\lambda}{\mu} = \rho; \tag{9.6}$$

- среднее число заданий в системе

$$L_{оч} = \frac{\rho^{n+1} P_0}{nn!(1-\rho/n)^2}; \quad (9.7)$$

- среднее число заданий в системе

$$L_{сист} = L_{оч} + \bar{k}; \quad (9.8)$$

- среднее время пребывания задания в системе

$$W_{ист} = \frac{L_{сист}}{\lambda}; \quad (9.9)$$

- среднее время пребывания задания в очереди

$$W_{оч} = \frac{L_{оч}}{\lambda}. \quad (9.10)$$

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.

При немарковских процессах в системе и не простейших потоках аналитические выражения получить трудно. В таких случаях моделирование проводят с помощью метода статистических испытаний (метод Монте - Карло), который позволяет создать алгоритмическую модель, включающую элементы случайности. Путем многократного запуска модели получают статистические данные, обработка которых дает значения финальных вероятностей состояний.

#### **Варианты заданий к практическим занятиям**

Рассчитать основные показатели работы многоканальной системы обслуживания с неограниченной очередью при заданной интенсивности потока заявок  $\lambda$  среднем времени обработки одного задания  $t_{обсл}$ .

Вариант задания	Интенсивность потока заявок $\lambda$ , 1/с	Время обработки одного задания $t_{обсл}$ , с	Количество ЭВМ, $n$
1	48	0,1	5
2	30	0,1	5
3	30	0,1	4
4	39	0,1	4
5	95	0,05	5
6	75	0,05	4
7	30	0,05	2
8	18	0,1	2

#### **Контрольные вопросы**

1. Общее описание моделей. Требования, предъявляемые к моделям.
2. Какими принципами руководствуются при построении моделей?
3. Этапы построения математических моделей, их содержание.
4. Моделирование информационных систем. Цели моделирования.

5. Какие принципы следует выполнять при моделировании систем?
6. Модели систем массового обслуживания. Область применения.
7. Моделирование вычислительных процессов и обслуживания вычислительных задач.
8. Какие предположения принимаются при построении модели обслуживания вычислительных заданий?
9. Построение графа состояний многоканальной системы обслуживания с неограниченной очередью.
10. Вычисление финальных вероятностей состояний многоканальной системы обслуживания.
11. Каковы основные показатели эффективности работы многоканальной системы обслуживания с неограниченной очередью?

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сунгатуллина, А. Т. Системный анализ и проектирование информационных систем на основе объектно-ориентированного подхода : учебно-методическое пособие по дисциплине «Методы и средства проектирования информационных систем» / А. Т. Сунгатуллина. — Москва : Российский университет транспорта (МИИТ), 2020. — 118 с.
2. Хорхордин, А. В. Методы анализа и синтеза цифровых систем автоматического управления : учебник / А. В. Хорхордин, О. С. Волуева, В. В. Турупалов ; под редакцией В. В. Турупалова. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. — 204 с.
3. Обухов, А. Д. Структурно-параметрический синтез адаптивных информационных систем на основе нейросетевых методов и архитектуры : монография / А. Д. Обухов, М. Н. Краснянский. — Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021. — 240 с.
4. Долженко, А. И. Управление информационными системами : учебное пособие / А. И. Долженко. — 3-е изд. — Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 180 с.