

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра ЭВМ и систем

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по выполнению лабораторных работ по курсу  
«Вычислительные комплексы, системы и сети»  
для студентов специальности Т.10.03.00

ЧАСТЬ 2

Брест 2001

УДК 681.3

Методические указания содержат основные теоретические сведения по постановке и решению задач синтеза однопроцессорных вычислительных систем, используемых в режимах оперативной обработки информации, а также исходные данные и описания заданий на выполнение лабораторно-практических работ по расчету параметров систем обработки данных с заданным временем ответа и заданной стоимости. Являются второй частью лабораторно-практического курса по изучению теории вычислительных систем в рамках дисциплины «Вычислительные комплексы, системы и сети» и опираются на теоретические и практические знания, приведенные в первой части курса – в лабораторных работах №1 «Дисциплины обслуживания заявок в ВС» и №2 «Характеристики функционирования ВС и их элементов». Предложенные в методических указаниях задания, требования к выполнению работ и содержанию отчетов разработаны с учетом имеющейся на кафедре ЭВМ и систем БГТУ аппаратно-технической базы.

Методические указания предназначены для использования студентами специальности Т.10.03.00 «Вычислительные машины, системы и сети».

Ил. 5., табл. 3., список лит. – 2 назв.

Составители: Савицкий Ю. В., к.т.н., старший преподаватель  
Шуть В. Н., к.т.н., доцент  
Костюк Д. А., ассистент

Рецензент: Ярошевич А. В. к.т.н., начальник РКЦ ГТТ  
“Брестоблтелеком”

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ПОСТРОЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ВС.....	4
1.1. Количество систем и каналов.....	4
1.2. Матрица вероятностей передач.....	5
1.3. Интенсивности потоков и коэффициенты передач.....	7
2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ СИНТЕЗА СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ.....	8
2.1. Критерий сбалансированности СОО.....	9
2.2. Задачи синтеза при заданной структуре СОО.....	11
3. СИНТЕЗ СОО ЗАДАННОЙ СТОИМОСТИ.....	11
4. СИНТЕЗ СОО С ЗАДАНЫМ ВРЕМЕНЕМ ОТВЕТА.....	16
5. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОО.....	18
ЛАБОРАТОРНАЯ ЛАБОТА №3. <i>СИНТЕЗ СОО ЗАДАННОЙ СТОИМОСТИ</i> .....	23

## 1. ПОСТРОЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ВС

**Общие сведения.** ВС в целом можно представить как совокупность СМО, каждая из которых отображает процесс функционирования отдельного устройства или группы отдельных устройств, входящих в состав системы. Совокупность взаимосвязанных СМО называется *стохастической сетью*. Конфигурация сети отражает как структуру ВС, так и последовательность этапов вычислительного процесса, развивающегося в пределах этой структуры.

**Параметры стохастических сетей.** Стохастическая сеть определяется следующей совокупностью параметров:

- 1) числом  $n$  систем массового обслуживания  $S_1, \dots, S_n$ , образующих сеть;
- 2) числом каналов (обслуживающих приборов)  $K_1, \dots, K_n$ , входящих в системы  $S_1, \dots, S_n$ ;
- 3) матрицей вероятностей передач  $P = [P_{ij}]$ , где  $P_{ij}$  – вероятность того, что заявка, покидающая систему  $S_i$ , поступит в систему  $S_j$  ( $i, j = 0, \dots, n$ );
- 4) числом  $M$  заявок, циркулирующих в замкнутой сети, или интенсивностью  $\lambda_0$  источника заявок  $S_0$ .

Рассмотрим физический смысл и способы определения перечисленных параметров при построении стохастических сетевых моделей ВС.

### 1.1. Количество систем и каналов

Количество  $n$  систем и каналов  $K_1, \dots, K_n$  в системах  $S_1, \dots, S_n$  и связи между этими системами определяют конфигурацию сети. Выбор данных параметров зависит от цели исследования, налагающей соответствующие ограничения на степень детализации моделируемых вычислительных процессов. Обычно число систем сетевой модели равно числу устройств обработки информации, входящих в ВС. К таким устройствам относят процессоры, селекторные (СК) и мультиплексные каналы (МК). Количество каналов (приборов) в системе массового обслуживания определяется числом однотипных устройств ВС. Например, два одинаковых процессора ВС, обслуживающих заявки с одинаковыми характеристиками из общей очереди, представляются двухканальной СМО. Каждый СК с подключенным к нему внешним запоминающим устройством (ВЗУ) рассматривается как одноканальная СМО, если не учитывать возможность одновременного

перемещения механизма доступа в различных ВЗУ. МК с подключенными к нему устройствами ввода-вывода (УВВ) представляется в виде многоканальной СМО с количеством каналов, равным числу УВВ. Это объясняется тем, что МК обеспечивает совмещенную работу УВВ, подключенных к различным подканалам.

## 1.2. Матрица вероятностей передач

Связи между СМО, входящими в сеть, устанавливаются на основе анализа порядка следования этапов обработки заявок в ходе вычислительного процесса. Для отображения связей между СМО сети удобно использовать направленный граф передач, вершины  $S_1, \dots, S_n$  которого соответствуют одноименным СМО, а дуги – связям между ними. Передача заявки в сети из системы  $S_i$  в систему  $S_j$  после завершения этапа обработки этой заявки в системе  $S_i$  отображается на графе дугой, исходящей из  $S_i$  и входящей в  $S_j$ . В случаях, когда заявка может быть передана из одной СМО в несколько других СМО, возникает неопределенность в выборе направления передачи. Для устранения неопределенности дуги графа передач взвешиваются вероятностями передач  $P_{ij}$ . Последние образуют матрицу  $P$ , размерность и элементы которой определяются видом сети.

*Разомкнутая сеть* содержит  $n$  СМО и источник заявок  $S_0$ , который можно рассматривать как СМО с бесконечным числом заявок и интенсивностью их обслуживания  $\lambda_0$  (рис. 1.1). *Замкнутая сеть* содержит  $n$  СМО и в ней выделяется фиктивный источник  $S_0$ , который можно представить в виде СМО с нулевым временем обслуживания заявок, поступающих на ее вход с интенсивностью  $\lambda_0$  (рис. 1.2). В результате матрица вероятностей передач разомкнутой и замкнутой сети состоит из  $(n+1)$  строк и  $(n+1)$  столбцов:

$$\begin{array}{c|cccc}
 & S_0 & S_1 & \dots & S_n \\
 \hline
 S_0 & P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0n} \\
 S_1 & P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1n} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 S_n & P_{n0} & P_{n1} & \dots & P_{nn}
 \end{array} \quad (1.1)$$

Вероятность передачи заявки из системы  $S_i$  в систему  $S_j$  равна доле потока, поступающего из системы  $S_i$  в систему  $S_j$ . Так как в сети заявки не теряются и заявка, выходящая из системы  $S_i$ , обязательно попадет в некоторую другую

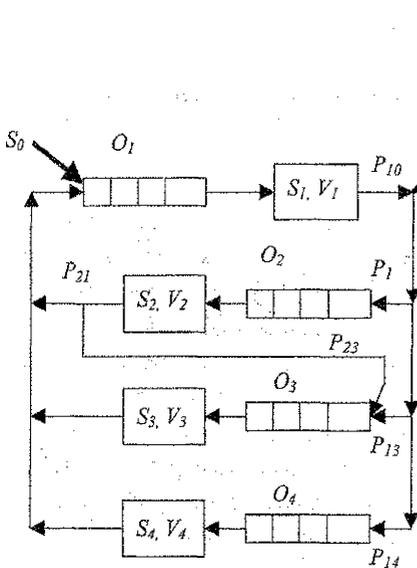


Рис. 1.1. Пример разомкнутой сети

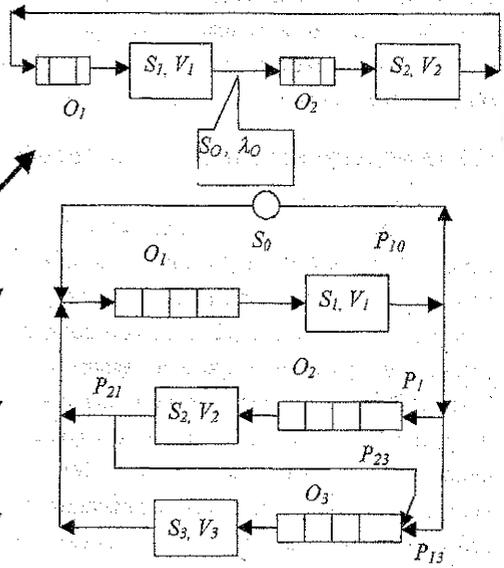


Рис. 1.2. Примеры замкнутых сетей

систему  $S_j$ , то должно выполняться условие  $\sum_{j=0}^n P_{ij} = 1$  ( $i = 0, \dots, n$ ). Таким образом,

сумма элементов каждой строки матрицы (1.1) равна единице, т.е. эта матрица стохастическая. Вероятности  $P_{ij}$  определяют порядок циркуляции заявок в сети и имеют следующий смысл. Пусть  $\alpha_{ij}$  – среднее количество обращений от устройства, моделируемого системой  $S_i$  сети, к устройству, моделируемому системой  $S_j$  сети, за время решения одной задачи. Общее количество этапов обслуживания заявок в системе  $S_i$  сети

$$a_i = \sum_{j=0}^n \alpha_{ij}, (i = 0, \dots, n).$$

В таком случае  $P_{ij} = \alpha_{ij} / a_i$ , т.е.  $P_{ij}$  – это доля проходящих через систему  $S_i$  заявок, которые направляются в систему  $S_j$ . Если все заявки, обслуженные системой  $S_i$ ,

поступают в систему  $S_j$ , то  $P_{ij}=1$ . Если система  $S_i$  не связана по выходу с системой  $S_j$ , то  $P_{ij}=0$ .

### 1.3. Интенсивности потоков и коэффициенты передач

Вероятности передач  $P_{ij}$  однозначно определяют соотношения между интенсивностями потоков заявок, циркулирующих в сети и, в частности, поступающих на входы систем  $S_0, \dots, S_n$  сети. Интенсивности  $\lambda_0, \dots, \lambda_n$  потоков заявок, поступающих из системы  $S_0, \dots, S_n$  сети, определяются средним числом заявок, поступающих в единицу времени в эти системы.

Будем рассматривать только установившийся режим. Тогда среднее число заявок, поступивших в систему  $S_i$  за некоторый промежуток времени, равно среднему числу заявок, покинувших эту систему, т.е. интенсивности входящего и выходящего потока равны между собой. Интенсивность потока, входящего в любую систему  $S_i$  сети, равна сумме интенсивностей потоков, поступающих в нее из других систем  $S_j$  ( $j=0, \dots, n$ ). Поскольку заявки из системы  $S_j$  поступают в систему  $S_i$  с вероятностью  $P_{ji}$ , то интенсивность потока, поступающего из  $S_j$  в  $S_i$ , равна  $P_{ji}\lambda_j$ , где  $\lambda_j$  – интенсивность выходящего и, следовательно, входящего потока заявок системы  $S_j$ . С учетом этого на входе системы  $S_i$  имеется поток с интенсивностью

$$\lambda_i = \sum_{j=0}^n P_{ji}\lambda_j, (i=0, \dots, n). \quad (1.2)$$

Эти выражения представляют собой систему алгебраических уравнений  $(n+1)$ -го порядка, которым соответствует каноническая форма:

$$\begin{cases} (P_{00} - 1)\lambda_0 + P_{10}\lambda_1 + \dots + P_{n0}\lambda_n = 0 \\ P_{01}\lambda_0 + (P_{11} - 1)\lambda_1 + \dots + P_{n1}\lambda_n = 0 \\ \dots \\ P_{0n}\lambda_0 + P_{1n}\lambda_1 + \dots + (P_{nn} - 1)\lambda_n = 0 \end{cases} \quad (1.3)$$

Из системы (1.3) определяется соотношение интенсивностей потоков  $\lambda_i$  и  $\lambda_0$  в виде  $\lambda_j = \alpha_{0j}\lambda_0$ . Коэффициент  $\alpha_{0j}$  называется коэффициентом передачи и определяет среднее число этапов обслуживания в системе  $S_j$  в расчете на одну заявку, поступающую от источника  $S_0$ . Условимся в дальнейшем опускать индекс 0 в коэффициенте  $\alpha_{0j}$ . Тогда

$$\lambda_j = \alpha_j \lambda_0. \quad (1.4)$$

причем  $\alpha_0=1$ .

Для разомкнутых стохастических сетей известна интенсивность источника заявок  $\lambda_0$ . Поэтому система (1.3) имеет единственное решение вида (1.4), где  $\lambda_0$  — фиксированная величина. Для замкнутой сети ни одна из интенсивностей  $\lambda_0, \dots, \lambda_n$  заранее не известна. Можно сказать, что в этом случае определитель системы уравнений (1.3) равен нулю. Поэтому система имеет бесконечное множество решений. Однако из (1.3) можно определить соотношение интенсивностей потоков  $\lambda_i$  и  $\lambda_0$ , т.е. коэффициенты передач  $\alpha_i$ . Коэффициенты передач  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$  определяются путем решения системы уравнений (1.3), в которую подставляется значение  $\lambda_0=1$ . В этом случае корни  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  системы  $n$ -го порядка численно определяют значения  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ .

Для замкнутой сети, кроме рассмотренных выше параметров задается число заявок  $M$ , циркулирующих по сети. При построении сетевых моделей параметр  $M$  определяется количеством задач, решаемых совместно в мультипрограммном режиме. Например, в сетевой модели ВС, работающей в мультипрограммном режиме с фиксированным числом задач, параметр  $M$  равен количеству разделов, ресурсы каждого из которых предоставляются одной задаче. В системах оперативной обработки, функционирующих в режиме диалога, число совместно обрабатываемых задач  $M$  равно числу пользователей, взаимодействующих с системой.

Средние длительности  $\vartheta_1, \dots, \vartheta_n$  обслуживания заявок в СМО сети определяются средними трудоемкостями  $\theta_1, \dots, \theta_n$  этапов решения задач и быстродействиями  $V_1, \dots, V_n$  устройств, входящих в состав систем  $S_1, \dots, S_n$  сети.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ СИНТЕЗА СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Синтез систем оперативной обработки данных (СОО) сводится к выбору таких значений параметров структуры (оборудования) и таких алгоритмов управления вычислительными процессами, при которых СОО оказывается наилучшим образом приспособленной для решения данного класса задач. Степень приспособленности СОО, т.е. эффективность системы, в общем случае оценивается следующим образом. Выигрыш за счет малого времени решения задач в СОО должен соизмеряться с ценой потерь, возникающих из-за недогрузки оборудования,

т. е. характеристики устройств СОО должны быть определенным образом сбалансированы с трудоемкостью выполняемых работ и темпом их поступления в систему. Степень сбалансированности системы «задачи—ВС» характеризуется посредством *критерия сбалансированности*, который строится следующим образом.

## 2.1. Критерий сбалансированности СОО

Пусть СОО предназначается для решения  $r$  типов задач, поступающих на обработку с интенсивностями  $\lambda_1, \dots, \lambda_r$ , и состоит из  $n$  устройств с ценами  $S_1, \dots, S_n$  и быстродействиями  $V_1, \dots, V_n$  соответственно. Задачи каждого типа характеризуются определенными потребностями в ресурсах устройств  $l_1, \dots, l_n$  (ресурсах оперативной и внешней памяти, каналов и устройств ввода-вывода, времени процессора). Предположим, что для любой конфигурации технических средств и стратегии управления вычислительными процессами могут быть определены коэффициенты простоя  $\eta_1, \dots, \eta_n$  устройств и средние времена пребывания  $u_1, \dots, u_r$  задач типа  $l_1, \dots, l_r$  в СОО. Значения  $\eta_1, \dots, \eta_n$  и  $u_1, \dots, u_r$  зависят в первую очередь от быстродействий устройств ЭВМ, класса решаемых задач и стратегии управления работами, используемой в СОО. Положим, что  $T$  — период эксплуатации СОО, исчисляемый в таких же единицах времени, как и интенсивности  $\lambda_1, \dots, \lambda_r$  поступления задач, и  $d_1, \dots, d_r$  — штраф в у.е. за задержку на единицу времени решения одной задачи типа  $l_1, \dots, l_r$ . Рассмотрим величину

$$C = (1/T) \sum_{i=1}^n S_i \eta_i + \sum_{j=1}^r d_j \lambda_j u_j. \quad (2.1)$$

Первая сумма в (2.1) определяет цену простоя оборудования в процессе решения задач. Цена простоя приводится к единице времени посредством множителя  $1/T$ . Таким образом, первый член в (2.1) характеризует цену простаивающего оборудования в расчете на единицу времени и имеет размерность у.е. на единицу времени. Произведение  $d_j \lambda_j u_j$  определяет штраф за задержку в решении задач  $j$ -го типа, поступающих в количестве  $\lambda_j$  за единицу времени. Вторая сумма в (2.1) характеризует суммарный штраф за задержку в решении задач в расчете на единицу времени. Этот штраф зависит, например, от стоимости простоя пользователей, для которых решаются задачи. Таким образом, величина  $C$  характеризует суммарные

потери в системе задачи—ВС. Чем меньше эти потери, тем выше эффективность СОО. Показатель  $C$ , вычисляемый в виде (2.1), называется *критерием сбалансированности СОО*. В случае, когда СОО обслуживает однородные заявки, критерий сбалансированности системы принимает вид

$$C = (1/T) \sum_{i=1}^n S_i \eta_i + d_0 \lambda_0 u = (1/T) \sum_{i=1}^n S_i (1 - \rho_i) + d_0 \lambda_0 u, \quad (2.2)$$

где  $\lambda_0$  — интенсивность поступления заявок (задач) в СОО;  $u$  — среднее время ответа системы на запрос пользователя.

Как видно из (2.2), *основные составляющие критерия  $C$  — среднее время ответа и загрузка устройств*. Чем меньше время ответа, тем выше качество системы с точки зрения пользователей. Средняя загрузка оборудования определяет эффективность использования ресурсов системы. При равном быстродействии более высокую эффективность имеет система, оборудование которой полнее используется в ходе вычислительного процесса, так как система с большей загрузкой оборудования имеет в среднем более высокую производительность, т.е. решает большее количество задач в единицу времени. Указанные характеристики зависят от целого ряда параметров, определяющих как вычислительную нагрузку (трудоемкость задач и интенсивность их поступления), так и структуру системы.

Значение каждого из слагаемых в (2.1) и (2.2) существенно зависит от быстродействий  $V_1, \dots, V_n$  устройств  $1, \dots, n$ . При фиксированном потоке задач увеличение быстродействий устройств приводит к увеличению коэффициентов простоя  $\eta_1, \dots, \eta_n$  и уменьшению значения  $u$ , характеризующего время решения задач, причем эти зависимости носят монотонный характер. Увеличение быстродействий предполагает рост стоимостей  $S_1, \dots, S_n$  устройств. Для иллюстрации этих зависимостей вместо вектора  $(V_1, \dots, V_n)$ , характеризующего быстродействия устройств, будем использовать некоторую скалярную величину  $V = f(V_1, \dots, V_n)$ , обобщенно представляющую быстродействие системы. Характер зависимости первого и второго  $C_2$  слагаемых, фигурирующих в (2.1) и (2.2), от быстродействия  $V$  изображен на рис. 2.1. Зависимость  $C = C_1 + C_2$  от  $V$  носит экстремальный характер: при некотором быстродействии  $V = V_0$  потери  $C_1$  от простоя оборудования оказываются наилучшим образом сбалансированными с потерями  $C_2$  из-за задержки в решении задач. ВС с быстродействием  $V_0$  сбалансирована с характеристиками задач, для решения которых она предназначена.

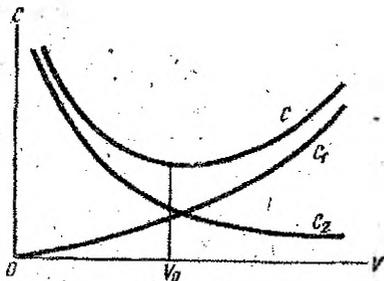


Рис. 2.1. К определению критерия сбалансированности СОО

## 2.2. Задачи синтеза при заданной структуре СОО

Таким образом, в общем случае задачу оптимального проектирования СОО можно формулировать в следующем виде: выбрать такие параметры технических средств и алгоритмы управления вычислительными процессами, чтобы при назначенных штрафах за задержку в решении задач минимизировать величину  $C$ . Задача синтеза при заданной структуре СОО наиболее часто формулируется в одной из следующих постановок:

1. Синтезировать систему, обеспечивающую решение  $\lambda_0$  задач в единицу времени при минимально возможном времени ответа (времени пребывания задач в системе), причём стоимость системы не должна превышать заданного значения  $S^*$ ;
2. Синтезировать систему, обеспечивающую решение  $\lambda_0$  задач в единицу времени при среднем времени ответа, не превосходящем заданной величины  $u^*$ , причём стоимость системы должна быть минимальной.

## 3. СИНТЕЗ СОО ЗАДАННОЙ СТОИМОСТИ

В первой постановке производительность (пропускная способность) системы и суммарная стоимость устройств  $S = \sum_{i=1}^n S_i$  являются ограничениями, и

оптимальной считается система, имеющая минимальное время ответа  $\bar{u}$ . Рассмотрим один из возможных вариантов решения этой задачи.

Пусть известны характеристики класса задач, для решения которых предназначается проектируемая СОО, т. е. определена потребность в ресурсах системы (оперативной памяти, емкости ВЗУ различных типов, процессорных операциях и операциях ввода — вывода) в расчете на одну решаемую задачу. На основе этих сведений могут быть определены номенклатура устройств ЭВМ (количество процессоров, каналов ввода—вывода, ВЗУ и т. п.) и конфигурация связей между ними, т. е. структура ЭВМ. Теперь возникает задача определения быстродействий устройств—быстродействия процессора, времени доступа к ВЗУ и т. д. Быстродействия устройств системы существенно влияет на их стоимость: более быстродействующее устройство имеет большую цену. Очевидно, что быстродействия устройств должны быть согласованы с трудоемкостью задач и, кроме того, стоимость  $S$  должна быть распределена между  $n$  устройствами таким образом, чтобы время ответа  $\bar{u}$  имело минимальное значение. Задача оптимального распределения стоимостей устройств, т. е. их быстродействий, при ограничении на суммарную стоимость устройств, решается следующим образом.

В качестве модели СОО будем использовать разомкнутую стохастическую сеть. Пусть сеть состоит из  $n$  систем массового обслуживания, каждая из которых соответствует определенному устройству СОО. Исходя из параметров трудоемкости задач и порядка их решения, зависящего от способа планирования работ в СОО, определяются параметры сети, в частности, трудоемкости  $\theta_1, \dots, \theta_n$  обслуживания заявок в каждой из  $n$  систем сети, характеризующие количество операций, выполняемых соответствующим устройством при обслуживании одной заявки, и коэффициенты передачи  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ , характеризующие количество обращений к соответствующим устройствам в процессе решения одной задачи. Принимается традиционное допущение, по которому поток задач, поступающих на вход СОО, — простейший, и длительности обслуживания заявок в каждой из систем сети распределены по экспоненциальному закону. В таком случае сеть является экспоненциальной и может рассматриваться как  $n$  независимо функционирующих систем массового обслуживания, которые будем идентифицировать номерами  $1, \dots, n$  (рис. 3.1).

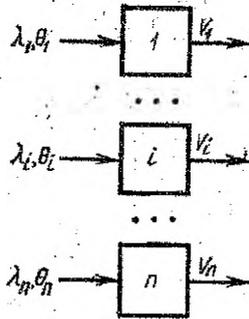


Рис. 3.1. Представление СОО в виде  $n$  отдельных систем массового обслуживания

На вход системы  $i=1, \dots, n$  поступает поток заявок с интенсивностью  $\lambda_i = \alpha_i \lambda_0$ , где  $\lambda_0$  — интенсивность потока задач на входе СОО, и трудоемкость обслуживания равна  $\theta_i$ . Обозначим быстродействия устройств, представляемых системами  $1, \dots, n$ , как  $V_1, \dots, V_n$ . Тогда средняя длительность обслуживания заявки в системе  $i$  будет  $\mathcal{G}_i = \theta_i / V_i$  и интенсивность обслуживания заявок  $\mu_i = V_i / \theta_i$ . Задержка заявки в системе  $i$ , т.е. время пребывания заявки в системе:

$$u_i = \mathcal{G}_i / (1 - \rho_i) = 1 / (1 / \mathcal{G}_i - \lambda_i) = 1 / (V_i / \theta_i - \lambda_i). \quad (3.1)$$

В процессе решения одной задачи происходит в среднем  $\alpha_i$  обращений к системе  $i$  и, следовательно, система  $i$  задерживает получение ответа в среднем на время  $\alpha_i u_i$ . С учетом этого среднее время пребывания задачи в сети, состоящей из  $n$  систем, составит

$$u = \sum_{i=1}^n \alpha_i u_i. \quad (3.2)$$

Значение  $u$  определяет среднее время ответа и, как видно из (3.1), существенно зависит от быстродействий  $V_1, \dots, V_n$  устройств, составляющих СОО. Быстродействие  $V$  — функция стоимости устройства  $S$ . Предположим, что эта зависимость линейна, т.е.  $S_i = k_i V_i$ , где  $k_i$  — коэффициент пропорциональности, отражающий стоимость (например, в у.е.) единицы быстродействия устройств типа  $i$ . В таком случае стоимость  $S$  системы распределяется на  $n$  составляющих:

$$S = \sum_{i=1}^n k_i V_i. \quad (3.3)$$

Величина  $S$  характеризует количество у.е., отпущенных на создание системы. Распределение суммы  $S$  между устройствами приводит к выделению на устройства  $S_1, \dots, S_n$  у.е., за счет которых могут быть приобретены устройства с быстродействиями  $V_1, \dots, V_n$ . Таким образом, задача выбора быстродействий устройств сводится к минимизации функции (3.2) при ограничении (3.3). Эта задача решена Л. Клейнроком следующим образом [1, 2]. К (3.2) применяется метод множителей Лагранжа. Составим функцию:

$$G = u + \gamma \left( \sum_{i=1}^n k_i V_i - S \right),$$

где  $\gamma$  — некоторый неопределенный постоянный множитель.

Дифференцируя  $G$  по  $V_i$ , с учетом (3.1), (3.2) и приравнявая производную нулю, получаем

$$-\alpha_i \frac{1}{(V_i / \theta_i - \lambda_i)^2} \frac{1}{\theta_i} + \gamma k_i = 0,$$

откуда

$$V_i = \lambda_i \theta_i + (1 / \sqrt{\gamma \lambda_0}) \sqrt{\lambda_i \theta_i / k_i}, \quad (3.4)$$

Умножая полученное выражение на  $k_i$  и суммируя по  $i$ , определяем (3.4) в виде

$$S = \sum_{i=1}^n k_i V_i = \sum_{i=1}^n k_i \lambda_i \theta_i + (1 / \sqrt{\gamma \lambda_0}) \sum_{i=1}^n \sqrt{\lambda_i \theta_i / k_i}, \quad (3.5)$$

откуда

$$1 / \sqrt{\gamma \lambda_0} = (S - \sum_{i=1}^n k_i \lambda_i \theta_i) / (\sum_{i=1}^n \sqrt{\lambda_i \theta_i / k_i}). \quad (3.6)$$

Обозначим:

$$s_0 = (S - \sum_{i=1}^n k_i \lambda_i \theta_i). \quad (3.7)$$

С учетом этого (3.6) запишется так:

$$1 / \sqrt{\gamma \lambda_0} = s_0 / (\sum_{i=1}^n \sqrt{\lambda_i \theta_i / k_i}).$$

Подставим это выражение в (3.4):

$$V_i = \lambda_i \theta_i + \frac{s_0}{k_i} \frac{\sqrt{\lambda_i \theta_i k_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{\lambda_j \theta_j k_j}}. \quad (3.8)$$

Как отмечалось ранее, интенсивность потока заявок на входе системы  $i$  связана с производительностью  $\lambda_0$  СОО соотношением  $\lambda_i = \lambda_0 \alpha_i$ , где  $\alpha_i$  — коэффициент передачи, равный количеству заявок, поступающих на вход системы  $i$  в процессе обработки одной задачи. С учетом этого соотношения (3.8) принимает вид:

$$V_i = \alpha_i \lambda_0 \theta_i + \frac{s_0}{k_i} \frac{\sqrt{k_i \alpha_i \theta_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{k_j \alpha_j \theta_j}}. \quad (3.9)$$

Таким образом, минимум среднего времени пребывания задач (среднего времени ответа на запрос пользователя) для СОО стоимостью  $S$  достигается при распределении быстродействии  $V_1, \dots, V_n$  устройств в соответствии с (3.9). Такое распределение быстродействий будем называть *оптимальным для СОО заданной стоимости*.

Раскроем смысл выражений (3.8), (3.9). Первый член в (3.9) имеет следующий смысл. Произведение  $\alpha_i \theta_i$  характеризует среднее количество операций, выполняемых устройством  $i$  в процессе решения одной задачи. Следовательно, величина  $\lambda_i \alpha_i \theta_i$  равна количеству операций, выполняемых устройством за единицу времени, на протяжении которой в систему поступает  $\lambda_0$  задач, т. е. величина  $\lambda_i \alpha_i \theta_i$  — это минимально необходимое быстродействие устройства  $i$  ( $V_{i, \min}$ ). При  $V_i > \lambda_i \alpha_i \theta_i$  устройство будет работать в стационарном режиме, обеспечивая обработку всех  $\lambda_0$  задач, поступающих на вход СОО в единицу времени. С учетом этого, сумма в выражении (3.7) определяет минимальную стоимость СОО, за счет которой может быть обеспечен стационарный режим работы системы при нагрузке  $\lambda_0$  задач в единицу времени. Система с нагрузкой  $\lambda_0$  может обрабатывать задачи за конечное время только в случае, если ее стоимость:

$$S > \sum_{i=1}^n k_i \lambda_i \theta_i. \quad (3.10)$$

Выражение (3.10) определяет минимально необходимую величину стоимости СОО. Если стоимость, запланированная на систему, удовлетворяет этому ограничению,

то значение  $s_0$ , определяемое (3.7), характеризует остаточную стоимость, которая может быть распределена между устройствами системы, с тем чтобы уменьшить время ответа  $u$ . Чем больше  $s_0$ , тем значительно можно сократить время ответа.

Отношение  $\frac{\sqrt{\lambda_i \theta_i k_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{\lambda_j \theta_j k_j}}$ , фигурирующее в (3.8), определяет долю остаточной

стоимости  $s_0$ , которую целесообразно заложить в  $i$ -е устройство для минимизации времени ответа  $u$ . Если учесть, что  $\lambda_i = \lambda_0 \alpha_i$  и положить стоимостные коэффициенты устройств  $k_i = 1$ , то рассматриваемое отношение принимает вид

$\frac{\sqrt{\alpha_i \theta_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{\alpha_j \theta_j}}$ , где произведение  $\alpha_i \theta_i$  характеризует суммарную трудоемкость

обработки одной задачи на  $i$ -м устройстве.

С учетом этого можно говорить, что оптимальное распределение быстродействий устройств сводится к увеличению быстродействия каждого из устройств по отношению к быстродействию, обеспечивающему существование стационарного режима, на величину, пропорциональную корню квадратному трудоемкости обработки задачи на устройстве, т. е. нагрузки на устройство, создаваемой задачами. Распределение быстродействий устройств в соответствии с (3.8), (3.9) называется распределением, пропорциональным корню квадратному нагрузке.

Итак, распределение быстродействий по (3.8), (3.9) сводится к выделению для каждого устройства минимально необходимого быстродействия  $\lambda_i \theta_i$ , на что расходуются минимально необходимые средства  $\sum_{j=1}^n \sqrt{\lambda_j \theta_j k_j}$ , и распределению

остаточных средств  $s_0$  пропорционально корню квадратному нагрузке устройств.

При оптимальном распределении быстродействий устройств среднее время пребывания заявки в  $i$ -м устройстве определяется подстановкой (3.9) в (3.1).

#### 4. СИНТЕЗ СОО С ЗАДАНЫМ ВРЕМЕНЕМ ОТВЕТА

Задача синтеза СОО в другой постановке формулируется следующим образом: требуется построить систему, обеспечивающую решение  $\lambda_0$  задач в

единицу времени при времени ответа (времени пребывания задач в системе), не превосходящем заданного значения  $u^*$ , причем стоимость оборудования (устройств системы) должна быть минимальной. По аналогии с предыдущей постановкой задачи синтеза предполагается, что известны характеристики класса задач, для решения которых предназначена проектируемая СОО, на основе которых определяется номенклатура устройств системы и конфигурация связей между ними. В качестве модели СОО будем использовать разомкнутую стохастическую сеть, для которой по-прежнему принимается допущение о простейшем потоке задач, поступающих на решение, и экспоненциальном законе распределения длительности обслуживания заявок в каждой из систем сети.

Задача синтеза СОО в рассматриваемой постановке решается так: к выражению, определяющему стоимость системы в предположении о линейном характере зависимости стоимости устройств от быстродействия, применяется метод множителей Лагранжа. Составим функцию  $G = S + \gamma(u - u^*)$ , где  $\gamma$  - неопределенный множитель. Дифференцируя  $G$  по  $u^*$  и приравняв производную к нулю, получаем

$$k_i - \gamma \alpha_i \frac{1}{(V_i / \theta_i - \lambda_i)^2} \frac{1}{\theta_i} = 0, \quad (4.1)$$

откуда

$$V_i = \lambda_i \theta_i + \sqrt{\gamma} \sqrt{\alpha_i \theta_i / k_i}. \quad (4.2)$$

Для нахождения неопределенного множителя  $\gamma$ , входящего в (4.2), воспользуемся соотношением, определяющим ограничение на время ответа СОО

$u = \sum_{i=1}^n \alpha_i u_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i (V_i / \theta_i - \lambda_i) = u^*$  путем подстановки в него значений  $u^*$  из (4.2). В результате получим

$$\sqrt{\gamma} = (1/u^*) \sum_{i=1}^n \sqrt{k_i \alpha_i \theta_i}.$$

С учетом этого (4.2) принимает вид

$$V_i = \lambda_i \theta_i + (1/u^*) \sqrt{\alpha_i \theta_i / k_i} \sum_{j=1}^n \sqrt{k_j \alpha_j \theta_j}, \quad (4.3)$$

или с учетом соотношения  $\alpha_i = \lambda_i / \lambda_0$

$$V_i = \lambda_i \theta_i + [1/(\lambda_0 u^* k_i)] \sqrt{k_i \lambda_i \theta_i} \sum_{j=1}^n \sqrt{k_j \lambda_j \theta_j}. \quad (4.4)$$

Таким образом, минимум стоимости СОО, обеспечивающей заданное время ответа  $u^*$ , достигается при распределении быстродействии  $V_1, \dots, V_n$  устройств системы в соответствии с (4.3) или (4.4). Такое распределение быстродействий будем называть *оптимальным для СОО с заданным временем ответа*.

Распределение быстродействий, задаваемое соотношениями (4.3), (4.4), достигается за счет выделения для каждого устройства минимально необходимого быстродействия  $V_{i,min}$  (при этом быстродействия существует стационарный режим) и увеличения его за счет минимума затрат до значения, при котором выполняются ограничения на время ответа системы. *Величина добавочного быстродействия для каждого из устройств по аналогии с предыдущим методом, пропорциональна корню квадратному нагрузке на устройство.* Кроме того, *добавочное быстродействие обратно пропорционально ограничению  $u^*$  на время ответа*, т. е. чем меньше время ответа требуется от системы, тем больше величина добавочного быстродействия и, следовательно, стоимость системы.

При оптимальном распределении быстродействий устройств (соотношения (4.3), (4.4)) стоимость СОО определяется следующим образом:

$$S = \sum_{i=1}^n k_i \lambda_i \theta_i + (1/u^*) \left( \sum_{i=1}^n \sqrt{k_i \alpha_i \theta_i} \right). \quad (4.5)$$

Стоимость СОО, определяемая этими выражениями, *минимальна* при рассматриваемой постановке задачи синтеза. Первое слагаемое в (4.5) определяет минимально допустимую стоимость СОО, при которой обеспечивается стационарный режим в системе без учета ограничений на время ответа, второе слагаемое—дополнительную стоимость на устройства, при которой выполняются ограничения на время ответа.

## 5. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОО

Настоящий раздел знакомит с методом статистической оценки характеристик функционирования типичной ВС и синтезом систем с заданными свойствами в соответствии с приведенными выше положениями теории вычислительных систем. В основу использованных методов построения работы с моделью ВС положены следующие допущения (рис 5.1).



5. Характер потока запросов от пользователей и представления ресурсов моделируемой ВС отдельными СМО определяет математическую модель системы в виде разомкнутой линейной стохастической сети.

6. Заявки, проходящие по сети, считаются однородными в смысле одинакового распределения времени их обслуживания в различных СМО сети (устройствах системы). Время обслуживания заявок в различных СМО сети предполагается распределенным по экспоненциальному закону.

Поток требований в обслуживающую систему (см. рис. 5.1) генерируется с интенсивностью  $\lambda_0$  подсистемой-источником  $S_0$ .  $S_1$  моделирует обслуживание в процессорном компоненте (PR) ВС, причем, независимо от числа и типа процессоров в  $S_1$ , модель является одноканальной. Для такого модельного представления PR обобщающей характеристикой является  $\mathcal{G}_1$  – среднее единичное время обслуживания. В области объектных параметров эта характеристика связана с  $V_1$  – быстродействием PR.

$S_2$  моделирует устройства внешней памяти на накопителях HDD. Аналогично,  $S_3$  является моделью устройств внешней памяти на накопителях FD.

$S_4$  – модель канала СН перемещения данных из внешней памяти в процессор PR. Качество СН оценивается его пропускной способностью  $V_4$ .

С вероятностью  $P_{01}=1$  все заявки от источника  $S_0$  передаются на обслуживание в  $S_1$  (PR). С вероятностью  $P_{10}$  обслуживание заявок в системе завершается, и они покидают систему. С вероятностями  $P_{12}$  и  $P_{13}$  возникают обращения соответственно к  $S_2$  (HDD) или  $S_3$  (FD) за данными для продолжения вычислительного процесса. С вероятностями  $P_{24}=1$  и  $P_{34}=1$  обслуженные в  $S_2$  и  $S_3$  заявки (доступ к файлам HDD и FD) передаются на обслуживание в  $S_4$  (передача данных по каналу СН). С вероятностью  $P_{41}=1$  обслуженные в  $S_4$  заявки передаются в  $S_1$  (передача данных из внешней памяти в оперативную память).

Рассмотрим более детально последовательность этапов расчета параметров типичной СОО на примере ВС, модель которой приведена на рис. 5.1. Трудоемкость средней задачи характеризуется следующими показателями:

$\theta$  – среднее количество процессорных операций в ходе решения средней задачи;

$D_2$  – среднее количество обращений к файлам, находящимся на HDD в ходе решения средней задачи;

$D_3$  – среднее количество обращений к файлам, находящимся на FD в ходе решения средней задачи;

$D=D_2+D_3$  – общее количество обращений к файлам внешней памяти в ходе решения средней задачи.

Обслуживание средней задачи в процессоре фактически разбивается на  $D+1$  этап из-за необходимости обращения к файлам внешней памяти. Очевидно, что средняя трудоемкость этапа счета, выполняемого процессором, определяется как

$$\theta_1 = \frac{\theta}{D+1}. \quad (5.1)$$

Следующим этапом расчета является определение компонент  $P_{ij}$  матрицы вероятностей передач (1.1) (см. раздел 1). Для модели COO (см. рис. 5.1.) неизвестными компонентами матрицы являются вероятности  $P_{10}, P_{12}, P_{13}$ . Считая, что любой из  $D+1$  этапов счета, приходящийся в среднем на одну задачу, может ее завершить и что любое обращение к внешней памяти – это одна операция (т.е.  $\theta_j = \theta_j = 1$  оп.), получим:

$$P_{10} = 1/(D+1). \quad (5.2)$$

Исходя из известных количеств обращений к файлу в HDD либо в FD, можно получить каждую из вероятностей  $P_{12}, P_{13}$ :

$$P_{12} = D_2/(D+1), \quad (5.3)$$

$$P_{13} = D_3/(D+1). \quad (5.4)$$

В итоге матрица вероятностей передач примет содержательную форму выражения, где сумма элементов каждой строки непременно равна единице.

Далее определяются коэффициенты передач  $\alpha_j$  из системы алгебраических уравнений (1.3), а также интенсивности потоков заявок  $\lambda_j$ .

Будем рассматривать канал СН как специализированный процессор, действующий независимо и параллельно с PR, выполняющий операции передачи записей файлов размером  $g$  байтов из внешней памяти в оперативную память. Исходя из известных параметров нагрузки на накопители внешней памяти, можно определять трудоемкость обработки обращения к каналу в ходе обслуживания средней задачи.

Минимальный архитектурный вариант COO можно построить, выбрав минимально необходимые быстродействия  $V_{1,min}, V_{2,min}, V_{3,min}, V_{4,min}$  устройств PR, HDD, FD, СН таким образом, чтобы обеспечить существование в системе

стационарного режима при отсутствии резерва ресурсов. Среднее минимальное время обслуживания системой задач будет определяться следующим выражением:

$$\mathcal{G} = \sum_{j=1}^n \alpha_j \mathcal{G}_j. \quad (5.5)$$

На основании полученных данных, стоимостных коэффициентов  $k_1, k_2, k_3, k_4$  устройств PR, HDD, FD, CH, соответствующих ограничениях на стоимость системы либо время ответа, определяются быстродействия  $V_1, V_2, V_3, V_4$  устройств СОО оптимальной архитектуры в соответствии с одной из вышеизложенных постановок синтеза СОО.

Исходя из этого, для устройств  $S_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) и системы в целом при заданных быстродействиях устройств  $V_j$  можно определить перечисленные ниже основные характеристики (см. лаб. раб. №1, №2).

#### 1. Характеристики устройств СОО:

- загрузку устройств системы  $\rho_j$ ;
- время обслуживания в устройствах системы  $\mathcal{G}_j$ ;
- среднее время ожидания заявками очереди на обслуживание  $w_j$ ;
- среднее среднюю длину очередей заявок  $l_j$ ;
- среднее время пребывания заявки в устройствах системы  $u_j$ ;
- среднее число заявок, находящихся в системе  $m_j$ .

#### 2. Системные характеристики устройств СОО:

- среднее полное время ожидания заявки в системе:

$$w = \sum_{j=1}^n \alpha_j w_j; \quad (5.6)$$

- среднее полное время ответа (время пребывания) заявки в системе (по выражению (3.2));
- среднее число заявок, ожидающих обслуживания в системе:

$$l = \sum_{j=1}^n l_j; \quad (5.7)$$

- среднее число заявок, пребывающих в системе:

$$m = \sum_{j=1}^n m_j. \quad (5.8)$$

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### СИНТЕЗ СОО ЗАДАННОЙ СТОИМОСТИ

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ** – изучение методов построения и расчета характеристик стохастических сетевых моделей СОО; приобретение навыков в проектировании СОО заданной стоимости.

#### Часть 1. Построение стохастической сетевой модели ВС

##### 1.1. Порядок проведения работы

1.1.1. Изучить теоретические сведения по методике построения и расчета параметров стохастических сетевых моделей ВС.

1.1.2. Согласно своего варианта задания (табл. П.1), для разомкнутой сетевой модели СОО, приведенной на рис. 5.1, построить граф передач сети, сформировать матрицу вероятностей передач. Определить значения коэффициентов передач устройств системы.

1.1.3. Определить быстродействия  $V_{1,min}$ ,  $V_{2,min}$ ,  $V_{3,min}$ ,  $V_{4,min}$  устройств PR, HDD, FD, CH системы минимальной архитектуры.

1.1.4. Определить минимальную стоимость  $S_{1,min}$ ,  $S_{2,min}$ ,  $S_{3,min}$ ,  $S_{4,min}$  устройств PR, HDD, FD, CH, общую стоимость системы минимальной архитектуры  $S_{min}$ .

#### Часть 2. Проектирование СОО заданной стоимости

##### 2.1. Порядок проведения работы

2.1.1. Изучить методику расчета параметров устройств и этапы синтеза СОО оптимальной архитектуры по критерию заданной стоимости.

2.1.2. Для заданной структуры сетевой модели СОО и ее параметров, рассчитанных в части 1 лабораторной работы, выполнить синтез СОО

заданной стоимости, принимая ограничение на стоимость системы  $S^* = S_{\min} K_S$ , где  $K_S$  – коэффициент увеличения стоимости (см. табл. П.1).

2.1.3. Рассчитать требуемый объем буфера канала.

2.1.4. Рассчитать коэффициент загрузки устройств системы, среднее время обработки заявок в устройстве.

2.1.5. На основании параметров загрузки и времени обработки получить простые аналитические соотношения для вычисления средних величин следующих параметров устройств:

- длины очереди;
- числа заявок в системе;
- числа заявок, находящихся на обработке;
- времени ожидания обслуживания;
- времени пребывания.

Привести данные соотношения в отчете. Заполнить соответствующие (невыделенные) графы табл. П.3. результатами расчетов.

2.1.6. Определить вышеуказанные характеристики для системы в целом. Заполнить соответствующие (невыделенные) графы табл. П.3. результатами расчетов.

2.1.7. Выполнить п.2.1.2-2.1.6 для системы, стоимость которой повышена на 20% относительно принятой. Заполнить соответствующие (выделенные) графы табл. П.3. результатами расчетов. Проанализировать полученные результаты.

### 3. Содержание отчета

3.1. Цель работы.

3.2. Исходные данные.

3.3. Структура СОО.

#### *Для части 1*

3.4. Для п. 1.1.2, – граф передач сети, матрица вероятностей передач.

3.5. Для п. 1.1.3-1.1.5 – аналитические соотношения, сводная таблица результатов (табл. П.2).

#### *Для части 2*

3.6. Результаты расчетов, приведенные в табл. П.3.

3.7. Аналитические соотношения, использовавшиеся при расчете параметров СОО.

3.8. Общие выводы по полученным результатам моделирования СОО заданной стоимости.

### **4. Контрольные вопросы**

4.1. Какими параметрами задается стохастическая сетевая модель ВС?

4.2. Правила построения стохастических сетевых моделей ВС

4.3. Что представляют собой замкнутые и разомкнутые стохастические сети? Приведите примеры

4.4. Правила построения матрицы вероятностей передач

4.5. Что такое коэффициент передач? Правила расчета коэффициентов передач

4.6. Правила расчета интенсивностей потоков

4.7. Определение критерия сбалансированности СОО. От чего существенно зависит критерий сбалансированности СОО?

4.8. Каковы постановки задач синтеза СОО при заданной структуре и наборе устройств?

4.9. Что такое система минимальной архитектуры?

4.10. Правила определения минимальных быстродействий устройств

4.11. Что такое стационарный режим работы СОО?

4.12. Как определить минимальное время обслуживания устройств системы?

4.13. От каких параметров СОО и задач зависит время ответа устройств СОО?

4.14. Порядок расчета быстродействий устройств СОО заданной стоимости по методу квадратного корня.

4.15. Что представляет собой остаточная стоимость? На что она расходуется при синтезе СОО заданной стоимости?

4.16. В чем заключается оптимальность распределения быстродействий устройств СОО?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### СИНТЕЗ СОО С ЗАДАНЫМ ВРЕМЕНЕМ ОТВЕТА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – приобретение навыков в проектировании СОО с заданным временем ответа.

#### 1. Порядок проведения работы

1.1. Изучить методику расчета параметров устройств и этапы синтеза СОО оптимальной архитектуры по критерию заданной стоимости.

1.2. Для заданной структуры сетевой модели СОО и ее параметров, рассчитанных в части 1 лабораторной работы №3, выполнить синтез СОО с заданным временем ответа, принимая ограничение на время ответа  $t^* = \vartheta_{\min} K_V$ , где  $K_V$  – коэффициент увеличения времени обслуживания заявки (см. табл. П.1).

1.3. Для полученной СОО выполнить п. 2.1.3–2.1.6 лабораторной работы №1.

1.4. Выполнить п. 2.1.7 лабораторной работы №3 для СОО, время ответа которой уменьшено на 20% относительно принятого. Выполнить анализ стационарности режима работы полученной СОО.

#### 2. Содержание отчета

2.1. Цель работы.

2.2. Исходные данные.

2.3. Структура СОО.

2.4. Результаты расчетов, приведенные в табл. П.3.

2.5. Аналитические соотношения, использованные при расчете параметров СОО.

3.6. Общие выводы по полученным результатам моделирования СОО с заданным временем ответа.

### 3. Контрольные вопросы

- 3.1. Какова постановка задачи синтеза СОО с заданным временем ответа?
- 3.2. Правила построения стохастических сетевых моделей ВС
- 3.3. Правила расчета быстродействий устройств СОО с заданным временем ответа
- 3.4. Что представляет собой добавочное быстродействие устройств СОО? Как оно используется при синтезе СОО с заданным временем ответа?
- 3.5. В чем заключается оптимальность распределения быстродействий устройств для СОО с заданным временем ответа?
- 3.6. На основании параметров времени обслуживания и загрузки устройств выведите простые соотношения для вычисления:
  - длины очереди;
  - числа заявок в системе;
  - числа заявок, находящихся на обработке;
  - времени ожидания обслуживания;
  - времени пребывания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы теории вычислительных систем. Под ред. С.А. Майорова. Учеб. пособие для вузов: М., «Высш. школа», 1978. – 408с.
2. Бергсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 544с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

**Исходные данные и варианты заданий к лабораторным работам №3, №4**

Таблица П.1.

Варианты заданий	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Интенсивность входного потока, $\lambda_0, c^{-1}$	10	25	14	12	9	11	20	15	17
Трудоёмкость обработки задач в процессоре, $\theta$ , оп. процессора, $\cdot 10^6$	1	0.5	1.2	0.9	1.1	1.4	0.3	0.7	0.8
Количество обращений к HDD в ходе решения средней задачи	100	150	350	250	200	170	320	190	230
Количество обращений к FD в ходе решения средней задачи	10	15	5	25	20	17	22	9	23
Длина записи файла, байт	256	128	512	1024	256	1024	128	512	256
Коэффициент увеличения стоимости системы, $K_S$	1.5	1.7	1.65	1.9	2.0	1.8	1.75	1.9	1.55
Стоимостной коэффициент для PR	1	1.7	0.9	1.1	0.7	0.5	1.4	1.3	1.2
Стоимостной коэффициент для HDD, $\cdot 10^3$	5	4	6	3	2	5.5	4.5	3.5	2.5
Стоимостной коэффициент для FD, $\cdot 10^2$	1.2	1.4	2.3	2.1	4.5	7.6	1.7	3.2	1.1
Стоимостной коэффициент для СН, $\cdot 10^2$	9	7	6	9	5	7	6	5	7
Коэффициент увеличения времени обслуживания заявки, $K_Y$	1.6	1.8	1.75	1.55	1.9	1.5	1.95	1.85	2.0

### Примеры оформления сводных таблиц результатов

Таблица П.2.

	Характеристики устройств				Характеристики системы в целом
	PR	HDD	FD	CH	
Коэффициент передач					-
Интенсивность входного потока					
Минимальное быстродействие устройств					-
Минимальное время обслуживания					
Минимальная стоимость					

Таблица П.3.

	Характеристики устройств				Характеристики системы в целом
	PR	HDD	FD	CH	
Быстродействия устройств					-
Объем буфера канала	-	-	-	-	-
Загрузка					
Время обработки задач					
Длина очереди					
Время пребывания.					
Число заявок в системе					
Число заявок, находящихся на обработке в устройствах СОО					
Время ожидания обслуживания					

Учебное издание

Составители: Савицкий Юрий Викторович  
Шуть Василий Николаевич  
Костюк Дмитрий Александрович

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к выполнению лабораторных работ по курсу  
«Вычислительные комплексы, системы и сети»  
для студентов специальности Т10.01.03

ЧАСТЬ 2

Ответственный за выпуск Савицкий Ю. В.  
Редактор Строкач Т. В.

Подписано к печати 19.02.2007г.

Формат 60x84/16

Усл. п.л. 1,86. Уч. изд. л. 2,0. Тираж 120 экз. Заказ № 257.

Отпечатано на ризографе

Брестского государственного технического университета.

224017, Брест, ул. Московская, 267.