

Министерство образования Российской Федерации  
ГОУ ВПО "Уральский государственный технический университет-УПИ"

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ НА ЯЗЫКЕ GPSS**

Методические указания к лабораторным работам по курсу  
"Моделирование систем"  
для студентов заочной формы обучения специальности  
210100 - Управление и информатика в технических системах



Екатеринбург 2003

СРОКА ВОЗВРАТА  
ДОЛЖНА БЫТЬ  
ОЦЕНА НЕ ПО  
ЗДЕСЬ

доч. —

9

100  
2000

В:

ДЛЯ  
М. Р. А.  
КОНСТРУКТОРСКО-ПРОЕКТИРОВАТЕЛЬСКО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКО-СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНО-ОБЪЕКТНО-ОПЕРАТИВНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ХИМИЧЕСКОГО СЛОВОСОУЩЕСТВЛЕНИЯ

Министерство образования Российской Федерации  
ГОУ ВПО "Уральский государственный технический университет-УПИ"

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ НА ЯЗЫКЕ GPSS**

Методические указания к лабораторным работам по курсу

"Моделирование систем"

для студентов заочной формы обучения специальности

210100 - Управление и информатика в технических системах

Екатеринбург 2003

УДК 621.5

Составитель О.Г. Дружинина

Научный редактор доц., канд. техн. наук Ю.Н. Чесноков

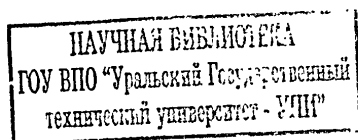
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ НА ЯЗЫКЕ GPSS:**  
Методические указания к лабораторным работам по курсу  
«Моделирование систем управления» / О.Г. Дружинина. Екатеринбург:  
УГТУ-УПИ, 2003. 36 с.

Изложены сводный перечень основных операторов языка, описание значений выходных параметров, а также подробно описан пример моделирования фрагмента сети передачи данных от постановки задачи до реализованной на GPSS машинной модели с анализом полученных результатов. Это позволит закрепить основные навыки в работе с языком имитационного моделирования GPSS при исследовании работы сложной систем массового обслуживания.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения специальности 210100 - Управление и информатика в технических системах.

Библиогр.: 3 назв. Табл.4. Рис.4.

Подготовлено кафедрой «Автоматика и управление в технических системах».



© Уральский государственный  
технический университет-УПИ, 2001  
© ГОУ ВПО "Уральский государственный  
технический университет-УПИ", 2003

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель данной лабораторной работы – закрепить основные навыки в работе с языком имитационного моделирования GPSS. Используя сводный перечень основных операторов языка, описание значений выходных параметров, а также подробно описанный пример моделирования фрагмента сети передачи данных от постановки задачи до реализованной на GPSS машинной модели с анализом полученных результатов, студент на процедурном уровне должен исследовать работу сложной системы массового обслуживания с разветвлениями и определенными условиями работы согласно варианту задания.

## 1. ПРЕИМУЩЕСТВА ЯЗЫКОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Успех или неудача проведения имитационных экспериментов с моделями сложных систем существенным образом зависят от инструментальных средств, используемых для моделирования, т.е. набора аппаратно-программных средств, представляемых пользователю-разработчику или пользователю-исследователю машинной модели. В настоящее время существует большое количество языков имитационного моделирования - специальных языков программирования имитационных моделей на ЭВМ, служащих вспомогательным аппаратом разработки, машинной реализации и анализа характеристик моделей.

Каждый язык моделирования отражает определенную структуру понятий для описания широкого класса явлений. Выбрав для решения задачи моделирования процесса функционирования системы конкретный язык, исследователь получает в распоряжение тщательно разработанную систему абстракций, предоставляющих ему основу для формализации процесса функционирования исследуемой системы. Высокий уровень проблемной ориентации языка моделирования значительно упрощает программирование моделей, а специально предусмотренные в нем возможности сбора, обработки и вывода результатов моделирования позволяют быстро и подробно анализировать возможные исходы имитационного эксперимента с моделью.

Основными моментами, характеризующими качество языков моделирования, являются: удобство описания процесса функционирования системы, удобство ввода исходных данных моделирования и варьирования структуры, алгоритмов и параметров модели, реализуемость статистического моделирования, эффективность

анализа и вывода результатов моделирования, простота отладки и контроля работы моделирующей программы, доступность восприятия и использования языка.

Серьезные недостатки языков имитационного моделирования проявляются в том, что в отличие от широко применяемых языков общего назначения, трансляторы с которых включены в поставляемое изготовителем математическое обеспечение всех современных ЭВМ, языки моделирования, за небольшим исключением, разрабатывались отдельными организациями для своих достаточно узко специализированных потребностей. Соответствующие трансляторы плохо описаны и приспособлены для эксплуатации при решении задач моделирования систем.

Язык GPSS представляет собой интерпретирующую языковую систему, применяющуюся для описания пространственного движения объектов. Такие динамические объекты в языке GPSS называются транзактами и представляют собой элементы потока. В процессе имитации транзакты «создаются» и «уничтожаются». Функцию каждого из них можно представить как движение через модель с поочередным воздействием на ее блоки. Функциональный аппарат языка образуют блоки, описывающие логику модели, сообщая транзактам куда двигаться и что делать дальше. Данные для ЭВМ подготавливаются в виде пакета управляющих и определяющих карт, который составляется по схеме модели, набранной из стандартных символов. Созданная GPSS-программа, работая в режиме интерпретации, генерирует и передает транзакты из блока в блок в соответствии с правилами, устанавливаемыми блоками. Каждый переход транзакта приписывается к определенному моменту системного времени.

## **2. СВОДНОЕ ОПИСАНИЕ БЛОКОВ ЯЗЫКА GPSS**

### **2.1. Вычислительные средства**

**FUNCTION** - блок определения функции.

имя FUNCTION A, B

имя - имя функции;

A - аргумент функции для получения значений функции;

B - количество пар координат, определяющих функцию, задается таким образом:

СК - для непрерывных функций;

ДК - для дискретных функций.

**VARIABLE** - блок определения целой переменной.

имя **VARIABLE A**

имя - имя переменной;

A - арифметическое выражение, определяющее переменную.

**FVARIABLE** - блок определения действительной переменной.

имя **FVARIABLE A**

имя - имя переменной;

A - логическое выражение.

**BVARIABLE** - блок определения булевой переменной.

имя **BVARIABLE A**

имя - имя переменной;

A - логическое выражение.

**SAVEVALUE** - блок изменения сохраняемых величин.

**SAVEVALUE A, B, C**

A - имя изменяемой сохраняемой величины. Если после A стоит знак <+>, то значение A увеличивается на B; если указан знак <->, то A уменьшается на B; если знак не указан, то A присваивается значение B;

B - параметр, используемый для модификации сохраняемой величины;

C - тип сохраняемой величины.

**MATRIX** - блок описания матриц.

имя **MATRIX A, B, C**

имя - имя матрицы;

A - тип матрицы (X - полнословная, H - полусловная);

B - количество строк в матрице;

C - количество столбцов в матрице.

**MSAVEVALUE** - блок изменения значения элемента матрицы.

**MSAVEVALUE имя, A, B, C, D**

имя - имя матрицы. Если после имени стоит знак <+>, то значение элемента матрицы увеличивается на C; если знак <->, то значение элемента матрицы уменьшается на C; если знака нет, то элементу матрицы приписывается значение C;

A - номер строки матрицы;

B - номер столбца матрицы;

C - величина, используемая для изменения значения элемента матрицы;

D - тип матрицы.

LOGIC - блок изменения логических переключателей.

LOGIC A B

A - оператор действия, который принимает значения:

R - сбросить логический переключатель;

S - установить логический переключатель;

I - инвертировать логический переключатель;

B - имя логического переключателя.

INITAL - блок установки начальных значений.

Установка значений сохраняемых величин:

INITAL A[i], B[i]

A[i] - имя сохраняемой величины;

B[i] - начальное значение (может быть положительным и отрицательным).

Установка значений матриц:

INITAL A[i] (C[i], D[i]), B[i]

A[i] - имя матрицы;

C[i] - номер строки матрицы;

D[i] - номер столбца матрицы;

B[i] - начальное значение.

## 2.2. Генерация и уничтожение транзактов

GENERATE - блок генерации транзактов.

GENERATE A, B, C, D, E, F, G

A - среднее значение интервала времени между последовательными прохождением транзактов;

B - разброс интервала времени относительно A;

C - момент времени, в который должен появиться первый транзакт;

D - кол-во транзактов, которое должно быть сгенерировано, после чего генерация транзактов прекращается;

E - значение приоритета генерируемых транзактов, которое может лежать в диапазоне 0-127, причем большее значение соответствует более высокому приоритету;

F - кол-во параметров транзакта ( $\leq 100$ );

G - размер памяти, отводимый под один параметр транзакта, равен 4 байтам.

TERMINATE - блок уничтожения транзактов;

TERMINATE A



A - при уничтожении транзактов вычисляется  $СЧ=СЧ-N$ , где СЧ - счетчик завершений (задается в блоке START). При  $СЧ=0$  моделирование прекращается.

### 2.3. Изменение параметров транзактов

ASSIGN - блок изменения значений параметров.

ASSIGN A, B, C :

A - номер параметра транзакта, подлежащего изменению. Если задан знак  $<+>$ , то прибавляется целая часть значения (BC), если задан  $<->$ , то вычитается; если знак не указан, то присваивается значение B;

B - величина, используемая для изменения значения параметра транзакта;  
C - имя функции, используемой для модификации величины.

PRIORITY - блок и изменения приоритета.

PRIORITY A, B

A - значение приоритета, присваиваемое транзакту;

B – при наличии данного операнда интерпретатор переставляет транзакт в цепи текущих событий так, что он оказывается в конце нового приоритетного класса, и снова начинает просмотр цепи текущих событий.

### 2.4. Ансамбли транзактов

SPLIT - блок расщепления транзактов.

SPLIT A, B, C, D

A - число дополнительно порождаемых транзактов - "потомков";

B - имя блока, куда будут направлены транзакты "потомки".

Транзакт - "родитель" поступает в следующий блок C - номер параметра транзакта - "родителя" и транзакты "потомков", которые принимают значения: у транзакта - "родителя" B увеличивается на единицу.

D - число параметров, которое должен иметь каждый потомок.

ASSEMBLE - блок соединения транзактов.

ASSEMBLE A

A - кол-во членов ансамбля, объединяемых в один транзакт. Когда кол-во вошедших членов ансамбля станет равно A, транзакт, прибывший первым, выходит из блока ASSEMBLE.

GATHER - блок сбора транзакта.

GATHER A

A - кол-во членов ансамбля, накапливаемых в данном блоке. Когда кол-во вошедших членов ансамбля станет равно A, они выходят из блока GATHER.

**MATCH** - блок синхронизации транзактов.

**MATCH A**

A - имя блока, сопряженного с данным. Если сопряженный блок содержит транзакт, являющийся членом ансамбля, к которому принадлежит транзакт, вошедший в блок MATCH, то оба транзакта продолжают движение. В противном случае транзакт задерживается в блоке MATCH.

**ADVANCE** - блок задержки транзактов.

**ADVANCE A, B**

A - среднее значение интервала времени, на которое задерживается транзакт;

B - разброс интервала времени относительно A; вычисляется, как и в блоке GENERATE.

## 2.5. Приборы

**SEIZE** - блок занятия прибора.

**SEIZE A**

A - имя прибора, подлежащего занятию транзакта.

**RELEASE** - блок освобождения прибора.

**RELEASE A**

A - имя освобождаемого прибора.

**PREEMT** - блок захвата приборов.

**PREEMT A, B, C, D, E**

A - имя захватываемого прибора;

B - условие захвата прибора. Если указан параметр PR, то захват прибора происходит при условии, что вновь поступающий транзакт имеет более высокий приоритет C - имя блока, в который будет послан прерванный транзакт;

D - номер параметра прерванного транзакта, в который помещается значение времени, оставшегося транзакту до окончания обслуживания на приборе;

E - если задан параметр RE, то прерванный транзакт теряет право на автоматическое восстановление обработки в приборе.

RETURN - блок возврата захваченного прибора.

RETURN A

A - имя освобождаемого прибора, т.е. возврат прибора ранее прерванному транзакту.

## 2.6. Многоканальные устройства

STORAGE - блок описания ёмкости устройства.

имя STORAGE A

имя - имя многоканального устройства;

A - ёмкость многоканального устройства.

ENTER - блок входа в устройство.

ENTER A, B

A - имя многоканального устройства;

B - занимаемая ёмкость устройства.

LEAVE - блок выхода из устройства.

LEAVE A, B

A - имя многоканального устройства;

B - освобождаемая ёмкость устройства.

## 2.7. Блоки проверки условий

TRANSFER - блок передачи транзактов.

*Безусловный режим:*

TRANSFER A

A - имя блока, в который переходит транзакт.

*Статический режим:*

TRANSFER A, B, C

A - вероятность передачи транзакта на C;

B - имя блока, куда передаются транзакты с вероятностью (1-A);

C - имя блока, куда передаются транзакты с вероятностью A.

*Условный режим:*

TRANSFER A, B, C

A - задает режим, при котором транзакт сначала пытается войти в блок B.

Если вход невозможен, то транзакт пытается войти в блок C. Если

транзакт не может войти и в этот блок, то транзакт остается в блоке

TRANSFER;

B - имя блока;

C - имя блока.

**SELECT** - блок выбора элементов.

*Режим отношения:*

**SELECT A B, MIN, MAX, C, D, E**

**B** - номер параметра транзакта, в который записывается номер члена группы, соответствующий заданному условию;

**MIN, MAX** - наименьший и наибольший номера из множества членов просматриваемой группы;

**C** - значение, с которым должно сравниваться значение;

**D** - имя просматриваемого множества элементов;

**E** - имя блока, в который передается транзакт, если ни один элемент просматриваемого множества не отвечает заданному условию.

*Режим работы минимального или максимального элемента:*

**SELECT A B, MIN, MAX, C**

**B, MIN, MAX, C** - имеют тот же смысл, что и в режиме отношения;

**A** - если **MIN**, то ищется элемент с минимальным значением **C**, если **MAX**, то с максимальным значением **C**.

*Логический режим:*

**SELECT A B, MIN, MAX, E**

**B, MIN, MAX, E** - имеют тот же смысл, что и в режиме отношения;

**A** - логический указатель, задающий условие, которое должно выполняться, может принимать следующие значения:

**LS** - логический переключатель установлен;

**LR** - логический переключатель сброшен;

**U** - прибор используется;

**NU** - прибор не используется;

**SF** - многоканальное устройство заполнено;

**SNF** - многоканальное устройство не заполнено;

**SE** - многоканальное устройство пусто;

**SNE** - многоканальное устройство не пусто;

**I** - на приборе произошло прерывание;

**NI** - на приборе не произошло прерывание.

**COUNT** - блок подсчета элементов.

**COUNT A B, MIN, MAX, C, D**

**B** - номер параметра транзакта, в который заносится кол-во элементов, удовлетворяющих данному условию.

**TEST** - блок сравнения атрибутов.

**TEST A B, C, D**

**B** - имя первого стандартного атрибута;

C - имя второго стандартного атрибута;  
D - имя блока, в который передается транзакт, если условие сравнения не выполняется;  
A - оператор основания задает операцию сравнения:  
G -  $B > C$ ; NE -  $B < C$ ; GE -  $B \geq C$ ; LE -  $B \leq C$ ; E -  $B = C$ ; L -  $B < C$ .

GATE - блок проверки состояния элементов.

Проверка состояния логических переключений:

GATE A B, C

B - имя логического переключателя;

C - имя блока, в который переходит транзакт, если проверяемое условие не выполняется;

A - логический указатель задает условие проверки:

LS - логический указатель установлен;

LR - логический указатель сброшен.

LOOP - блок организации цикла.

LOOP A, B

A - номер параметров транзакта, значение которого используется для организации кол-ва повторений (параметр цикла). При входе транзакта в данный блок A уменьшается на 1. Если A становится равным 0, то транзакт переходит в следующий блок, иначе транзакт переходит в блок с именем B;

B - имя блока, в который переходит транзакт, если  $A \neq 0$ .

QUEUE - блок занятия очереди.

QUEUE A, B

A - имя очереди;

B - кол-во мест в очереди, занимаемое транзактом.

DEPART - блок освобождения очереди.

DEPART A, B

A - имя очереди;

B - кол-во мест в очереди, освобождаемое транзактом.

## 2.8. Построение гистограмм

TABLE - блок описания таблицы.

имя TABLE A, B, C, D, E

имя - имя таблицы;

A - имя переменной, значение которой табулируется. Если указан параметр IA, то осуществляется построение гистограмм интервалов времени между моментами поступления транзактов в данную точку. Если указан параметр RT, то осуществляется построение гистограмм интенсивности прихода транзакта в данную точку, причем интенсивность определяется относительно временного интервала.

B - левая граница первого интервала таблицы;

C - ширина интервалов таблицы;

D - кол-во интервалов таблицы, увеличенное на 2;

E - временной интервал для параметра RT.

QTABLE - блок описания таблицы времени пребывания в очереди.

имя QTABLE A, B, C, D

имя - имя таблицы;

A - имя очереди, для которой строится распределение времени пребывания транзактов в очереди.

MARK - блок отметки.

MARK A

A - номер параметра транзакта, в который заносится момент времени входа транзакта в данный блок.

TABULATE - блок табулирования

TABULATE A, B

A - имя таблицы, в которую заносится табулируемая величина, указанная в блоке TABLE, в момент входа транзакта в данный блок;

B - весовой коэффициент, задающий число раз, которое табулируемая величина должна занести в таблицу при каждом входе в данный блок. При использовании данного параметра в блоке TABLE параметр K должен быть задан как WK.

## 2.9. Цепи пользователя

LINK-блок ввода транзакта в цепь пользователя.

LINK A, B, C

A - имя цепи пользователя;

B - критерий присоединения транзакта к цепи пользователя. B может принимать следующие значения;

FITO - встать в конце цепи;

LITO - встать в начало цепи;

P[i] - войти в цепь непосредственно перед транзактом с большим значением i-го параметра;  
C- имя блока, куда переходит транзакт, если он присоединяется к цепи пользователя.

UNLINK- блок вывода транзакта из цепи пользователя

UNLINK A, B, C, D, E, F

A - имя цепи пользователя;

B - имя блока, в который переходят выведенные из цепи транзакты;

C - число вводимых транзактов. Если задан параметр ALL, то выводятся все транзакты, отвечающие условиям:

D, E- определяют условия вывода транзактов из цепи пользователя;

F - имя блока, куда переходит транзакт - инициатор вывода, если из цепи не выводится ни один транзакт.

## 2.10. Служебные карты

SIMULATE - блок моделирования.

Этот блок должен быть первым блоком программы модели. Если он отсутствует, то выполнение модели не производится.

END - блок конца программы.

Этот блок должен быть последним.

START - блок начала моделирования.

START A, B, C, D

A - начальное значение счетчика числа завершений;

B - признак подавления печати. Если задан параметр NP, то стандартная печать в конце моделирования производиться не будет;

C - задает число завершений, через которое будет выдаваться промежуточная печать;

D - признак печати цепей. Печать цепей производится, если на месте D стоит 1.

## 3. ПРИМЕРЫ РАСПЕЧАТКИ ПРОГРАММ

Заголовок имеет вид :

block number	*loc	operation	A, B, C, D, E, F, G	Comments	card number
--------------	------	-----------	---------------------	----------	-------------

Поля заголовка имеют следующие значения:

block number - номер блока. Все блоки в программе должны быть пронумерованы. В этом поле указываются порядковые номера блоков (но не операторов);

\*loc (location) - поле имени. Здесь указываются имена блоков и таблиц. Символ \* говорит о том, что данная строка программы является комментарием или пустой строкой;

operation A, B, C, D, E, F, G - поле операций и поле операндов (помечено символами A, B и т.д.). В этом поле указываются блоки, операторы и их операнды;

comments - комментарии. В нем записываются необходимые пояснения к программе;

card number - это поле содержит порядковые номера всех строк программы.

Основные результаты, получаемые при моделировании, включают в себя модель после ассемблирования и список блоков.

*Ассемблирование* - это процесс трансляции с исходного языка в некоторый промежуточный объектный код. После ассемблирования все символические имена заменяются на числовые и модель принимает, например, следующий вид :

```
*
1  GENERATE 18 6
2  QUEUE 1
3  SEIZE 1
4  DEPART 1
5  ADVANCE 16 4
6  RELEASE 1
7  TERMINATE
*
8  GENERATE 480
9  TERMINATE 1
*
START 1
```

Более подробно данная модель рассматривается ниже.

— BLOCK-COUNTS - СПИСОК БЛОКОВ - может иметь следующий вид :

block	current	total
1	0	27
2	1	27



3	0	26
4	0	26
5	1	26
6	0	25
7	0	25
8	0	1
9	0	1

Block (блок) - номер блока;

Current (текущее) - счетчик текущего содержимого, т.е. это есть счетчик транзактов, находящийся в соответствующих блоках в момент завершения моделирования;

Total (общее) - общее число входов. Счетчик входов является счетчиком общего числа транзактов, которые вошли в соответствующие блоки в течение времени моделирования, включая также те из них, которые все еще находятся в блоках (если такие имеются). Вообще, каждой задаче соответствует определенный набор выходных параметров и эти наборы могут быть различными в зависимости от поставленной задачи.

Рассмотрим простейший пример - моделирование системы обслуживания с одним прибором и очередью.

Задача. Интервалы прихода клиентов в парикмахерскую с одним креслом распределены равномерно в интервале 18 плюс-минус 6 мин. Время стрижки также распределено равномерно, 16 плюс-минус 4 мин. Клиенты приходят, стригутся в порядке "первым пришел - первым обслужен" и затем уходят.

Модель парикмахерской на GPSS должна обеспечить сбор статистических данных об очереди. Необходимо промоделировать работу в течение 8 часов.

*Распечатка программы:*

block number	*loc	Operation	A, B, C, D, E, F, G	Comments	card number
		SIMULATE			1
	*				2
1		GENERATE	18, 6	приход клиентов	3
2		QUEUE	joeq	присоединение к очереди	4

3	SEIZE	joe	переход в кресло парикмахера	5
4	DEPART	joeq	уход из очереди	6
5	ADVANCE	16, 4	работа парикмахера	7
6	RELEASE	joe	уход из кресла парикмахера	8
7	TERMINATE		уход из парикмахерской	9
*				10
8	GENERATE	480	моделировать 480 ед. времени	11
9	TERMINATE	1	завершение прогона	12
*				13
	START	1		14
	END			15

Пример выходных данных:

relative clock 480			absolute clock 480				
facility	average utilization	number entries	average time/transaction	seizing trans. no.	preempting trans. no.		
joe	0,860	26	15,884	3			
queue	Maximum contents	Average contents	total entries	zero entries	percent zeros	average time/trans	Average time/trans
joeq	1	0,160	27	12	44,4	2,852	5,133

По завершении моделирования интерпретатор GPSS автоматически распечатывает некоторое количество информации о поведении модели. Эта информация включает статистические данные по каждому из элементов, используемых в модели, т.е. по каждому из приборов, очередей и т.д. Для того чтобы иметь представление о работе модели на основании результатов моделирования, ниже для данного примера приводится описание всех выходных параметров и русский эквивалент их названий.

*Описание значений выходных параметров.*

1. RELATIVE CLOCK 480 и ABSOLUTE CLOCK 480

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ и АБСОЛЮТНОЕ ВРЕМЯ - в этом и других примерах данные параметры означают, что моделирование завершилось в момент модельного времени, равного 480.

2. FACILITY (полное обозначение - facility symbols corresponding numbers).

Joe ПРИБОР (словарь символов для приборов) - здесь указывается перечень приборов. В перечне представлены все символические имена приборов (или присвоенные им числовые эквиваленты), используемых в модели.

3. QUEUE (queue symbols corresponding numbers).

Joeq ОЧЕРЕДЬ (словарь символов для очередей) - полностью аналогично FACILITY.

*Выходные данные для прибора joe.*

4. AVARAGE UTILIZATION 0,860

СРЕДНЯЯ НАГРУЗКА - время, в течение которого прибор был занят, т.е. в течение 86% модельного времени.

5. NUMBER ENTRIES 26

ЧИСЛО ВХОДОВ - число обслуживаний, т.е. прибор был занят обслуживанием 26 раз.

6. AVARAGE TIME/TRAN 15,884

СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ/ТРАНЗ - среднее время интервала обслуживания, т.е. средняя продолжительность обслуживания прибора joe равна 15,884 мин.

7. SEIZING TRANS.NO 3

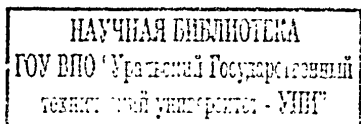
НОМЕР ОБСЛУЖИВАЕМОГО ТРАНЗАКТА - транзакт номер 3 находился на обслуживании прибором joe в момент завершения моделирования.

8. PREEMPTING TRANS.NO

НОМЕР ЗАХВАТИВШЕГО ТРАНЗАКТА - транзакта, который захватил прибор, при завершении моделирования нет.

*Выходные данные для очереди joeq.*

9. MAXIMUM CONTENTS 1



**МАКСИМАЛЬНОЕ СОДЕРЖИМОЕ** - наибольшее значение содержимого очереди, зарегистрированное в течение моделирования, т.е. в очереди никогда не было более одного клиента.

10. AVARAGE CONTENTS 0,160

**СРЕДНЕЕ СОДЕРЖИМОЕ** - среднее значение содержимого очереди, т.е. среднее число клиентов, находившихся в очереди, равно 0,16.

11. TOTAL ENTRIES 27

**ОБЩЕЕ ЧИСЛО ВХОДОВ** - общее число элементов содержимого, вошедших в очередь, т.е. всего в очередь вставало 27 клиентов.

12. ZERO ENTRIES 12

**НУЛЕВЫЕ ВХОДЫ** - общее число входов в очередь без последующего ожидания, т.е. среди 27 клиентов 12 сразу стали обслуживаться.

13. PERCENT ZEROS 44,4

**ПРОЦЕНТ НУЛЕВЫХ** - из общего числа входов в очередь 44,4% было нулевых.

14. AVARAGE TIME/TRAN 2,851

**СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ/ТРАНЗ** - среднее время, проведенное в очереди, с учетом нулевых входов, т.е. среднее время нахождения клиента в очереди равно 2,851 мин.

15. \$AVARAGE TIME/TRANS 5,133

**\$СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ/ТРАНЗ** - среднее время нахождения в очереди на один ненулевой вход, т.е. каждый клиент, который ждал в очереди, ждал 5,133 мин.

16. TABLE NUMBER

**ИМЯ ТАБЛИЦЫ** - имя таблицы, в которой представлено распределение времени ожидания для этой очереди. В данном примере не используется.

17. CURRENT CONTENTS 1

**ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖИМОЕ** - текущее значение содержимого очереди, т.е. в момент завершения моделирования один транзакт находился в очереди.

#### **4. ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ЯЗЫКЕ GPSS**

В качестве объекта моделирования рассмотрим *сеть передачи данных* (СПД) как систему, процесс функционирования которой можно описать в терминах и понятиях Q-схемы. В данном примере необходимо

поэтапно провести моделирование фрагмента СПД с целью получения оценок вероятностно-временных характеристик процесса функционирования.

СПД представляет собой совокупность средств для передачи и распределения данных. Данные передаются между вычислительными комплексами ВК через узлы коммутации УК, соединенные каналами связи КС. Узел коммутации, состоящий из аппаратно-программных средств, выполняет функции маршрутизации, передачи и коммутации данных. Канал связи представляет собой совокупность технических средств и среды распространения.

Рассмотрим СПД в режиме коммутации пакетов, при котором данные из сообщений пользователей разбиваются на отдельные пакеты, маршруты передачи которых в сети от источника к получателю определяются в каждом УК, куда пакеты поступают. Под *сообщениями* понимается конечная последовательность символов, имеющая смысловое содержание. *Пакет* – это блок данных с заголовком, представленный в установленном формате и имеющий ограниченную максимальную длину в битах. СПД с коммутацией пакетов обладают высокой эффективностью благодаря возможности быстрой перестройки путей передачи данных (маршрутизации) при возникновении перегрузок и повреждении элементов СПД. Эффективность различных вариантов построения СПД и ее фрагментов оценивается средними временами доставки данных пользователям и вероятностями отказа в установлении требуемого пользователю соединения в данный момент времени.

Фрагмент СПД представляет собой взаимодействие двух соседних узлов коммутации СПД, обозначенных УК1 и УК2. Эти узлы соединены между собой дуплексным дискретным каналом связи (ДКС), позволяющим одновременно передавать данные во встречных направлениях, т.е. имеется два автономных однонаправленных ДКС. Считаем также, что все сообщения, поступающие в СПД, являются однопакетными.

Структурная схема варианта УК представлена на рис. 1, где обозначено: ВхБН и ВыхБН – входные и выходные буферные накопители соответственно; К – коммутаторы; ЦП – центральный процессор. Этот УК функционирует следующим образом. После поступления пакета из одного из входных КС узла он помещается в ВхБН. Затем ЦП на основе заголовка пакета и хранимой в УК маршрутной таблицы определяет требуемое направление дальнейшей передачи пакета и помещает его в соответствующий ВыхБН для последующей передачи по выходному КС.

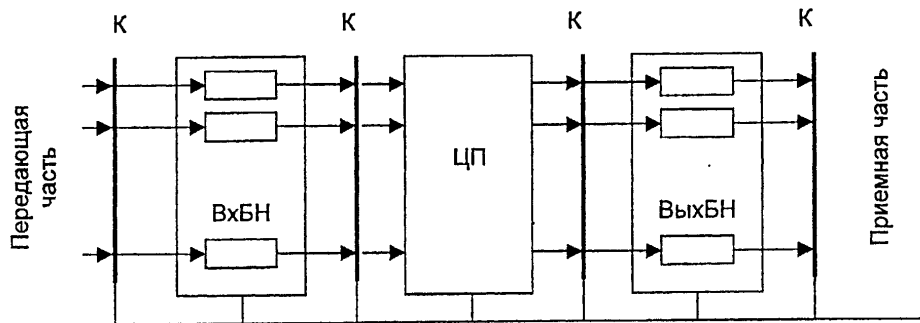


Рис.1. Структурная схема варианта узла коммутации

Структурная схема варианта ДКС с решающей обратной связью показана на рис. 2, где обозначено: КУ и ДКУ – кодирующее и декодирующее устройства соответственно; УУК – устройство управления каналом; КА – каналообразующая аппаратура. На передающей стороне пакет из ВыБН узла коммутации попадает в КУ, где производится кодирование, т.е. внесение избыточности, необходимой для обеспечения помехоустойчивой передачи по КС. Согласование с конкретной средой распространения реализуется КА (например, организация коротковолнового радиоканала через спутник-ретранслятор для распределенной СПД или оптического канала с использованием световода для локальной СПД). На приемной стороне из КЛ пакет попадает в ДКУ, которое настроено на обнаружение и/или исправление ошибок. Все функции управления КА, ДКУ (в том числе и принятие решений о необходимости повторного переспроса копии пакета с передающего УК) и взаимодействия с центральной частью узла реализуются УУК, которое является либо автономным, либо представляет собой часть процедур, выполняемых ЦП узла.

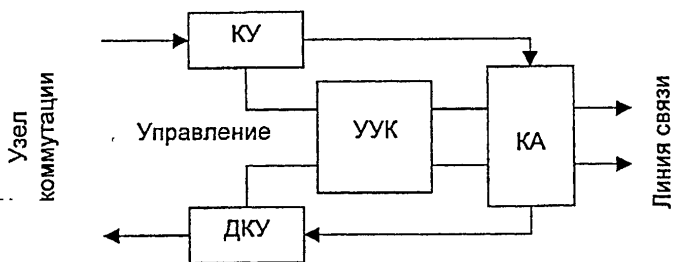


Рис.2. Структурная схема варианта дискретного канала связи

В качестве критериев оценки эффективности процесса функционирования рассматриваемого в примере фрагмента СПД выбраны вероятностно-временные характеристики: вероятность передачи пакета данных по ДКС за время  $t_d$ , не превышающее заданное  $T_d^{Зад}$ , т.е.  $P(t_d \leq T_d^{Зад})$ ; вероятность передачи пакета подтверждения за время  $t_n$ , не превышающее заданное  $T_n^{Зад}$ , т.е.  $P(t_n \leq T_n^{Зад})$ ; математическое ожидание и дисперсия полного времени передачи пакета из одного УК в другой  $M[t^{ДСН}]$  и  $D[t^{ДСН}]$  соответственно.

Для рассматриваемой СПД в качестве параметров могут быть выбраны емкости буферных накопителей УК (ВхБН и ВыхБН), которые представляют собой объем памяти, необходимый для промежуточного хранения информации, содержащейся в пакете; емкость каждого БН обозначим через  $L$  и будем измерять в количестве пакетов, которые можно поместить в БН; в модели параметр  $L$  задается в исходных данных и служит для фиксации при моделировании состояния занятости (заполненности) БН при оценке потерь (переполнений) и времени ожидания.

В качестве эндогенных (зависимых) переменных модели фрагмента СПД зададим:

- среднюю длину очереди в каждом БН (емкость их задается параметрами  $L$ ), которая представляет собой среднее число пакетов, ожидающих в БН дальнейшей обработки (передачи); обозначим среднюю длину очереди в каждом БН через  $L_{CP}$  и будем измерять в количестве пакетов; диапазон изменения  $L_{CP}$  – 0-20 в модели переменная (выходная характеристика) оценивается на основании обработки статистики, собираемой по каждому БН;
- среднее время передачи сообщений по ДКС, представляющее собой среднее время, необходимое для передачи всех пакетов одного сообщения с учетом возможных повторных передач из-за ошибок, появившихся в ДКС; обозначим среднее время передачи через  $T_n$  и будем измерять его в единицах времени; диапазон изменения  $T_n$  – 0-20 единиц времени; в модели переменная (выходная характеристика) оценивается на основании обработки статистики, собираемой по передаче пакетов по ДКС.

В качестве экзогенных (независимых) переменных модели фрагмента СПД выберем:

- время передачи каждого пакета по ДКС, представляющее собой случайную величину с законом распределения, определяемым числом повторных передач из-за наличия ошибок в ДКС; обозначим время передачи пакета через  $t^{ДСН}$  и будем измерять в единицах времени; выберем диапазон изменения  $t^{ДСН}$  от времени передачи одного пакета

- до времени передачи пакета, умноженного на число допустимых передач; в модели переменная имитируется исходя из состояния ДКС;
- время обработки каждого пакета в ЦП, представляющее собой случайную величину с законом распределения, определяемым занятостью ДКС; обозначим время обработки пакета в ЦП через  $t^{CPU}$  и будем измерять в единицах времени; в модели переменная  $t^{CPU}$  имитируется исходя из наличия пакетов на входе ЦП.

В качестве воздействий внешней среды рассмотрим при моделировании фрагмента СПД интенсивность входящего потока пакетов в УК, представляющего суммарный поток из всех потоков пользователей, и из других УК; интенсивность входящего потока пакетов обозначим  $\lambda_{ВХ}$  и будем измерять в количестве поступивших пакетов за единицу времени; в модели переменная  $\lambda_{ВХ}$  задается в исходных данных и получается путем генерации датчиком случайных чисел с требуемым законом распределения.

При построении концептуальной модели необходимо ее описать в абстрактных терминах и понятиях типовой математической схемы. Структурная схема модели процесса взаимодействия двух узлов коммутации (УК1 и УК2) через дискретный канал связи (ДСК) в символической Q-схеме представлена на рис.3, где обозначено: И – источник, К – канал, Н – накопитель. Опишем процесс функционирования фрагмента СПД. Поступление пакетов данных в моделируемый фрагмент СПД на входы имитируется источниками И1 (GEN1) и И2 (GEN2). Пакеты буферизуются накопителями Н4 (BUF4) и Н2 (BUF2), т.е. ожидают освобождения каналов в УК1 и УК2 соответственно. После обслуживания каналами К1 (CPU1) и К3 (CPU2), т.е. после обработки ЦП УК1 и УК2 соответственно, пакеты поступают в выходные накопители Н1 (BUF1) и Н3 (BUF3) этих узлов. Далее, в порядке очереди, копии пакетов обслуживаются каналами К2 (DCH1) и К4 (DCH2), имитирующими процесс передачи по ДКС. При приеме копии пакета без ошибки, т.е. их поступлении в Н2 и Н4, формируется подтверждение приема, которое в виде короткого пакета поступает в соответствующий выходной для данного узла накопитель Н1 и Н3 для передачи на другой УК, т.е. снова реализуется обслуживание каналами К2 и К4. После подтверждения в узле-источнике правильного приема уничтожается пакет, хранящийся в Н1 и Н3. Выходам соответствуют точки 3 и 4 на структурной схеме модели процесса взаимодействия двух узлов коммутации СПД.



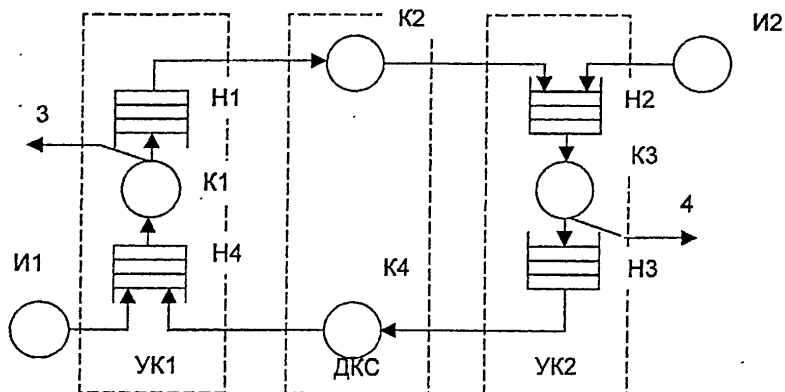


Рис.3. Структурная схема модели процесса взаимодействия двух узлов коммутации СПД в символикe Q-схемы

Ниже представлен текст программы процесса взаимодействия двух узлов коммутации СПД на языке GPSS.

Block num ber	*Loc	Operation	A,B,C,D,E,F,C,H,I	Comments
0	Expon	Sumulate Unlist function	ABS RN1, C24	
,6	,915	,1 ,104	,2 ,222 ,3 ,355 ,4 ,509 ,5 ,69	
,9	2,3	,7 1,2	,75 1,38 ,8 1,6 ,84 1,83 ,88 2,12	
,98	3,9	,92 2,52	,94 2,81 ,95 2,99 ,96 3,2 ,97 3,5	
1	Met1	,99 4,6	,995 5,3 ,998 6,2 ,999 7,0 ,9977 8,0	
2		Enter	BUF4, 1	
3		Seize	CPU1	
4		Advance	2	Обработка в CPU1
5		Leave	BUF4, 1	
6		Release	CPU1	
7		Enter	BUF1, 1	
8		Test E	PB2, K1, MET4	
9		Test E	PB1, K20, COP1	
10	COP1	Split	1, NEX1	
11		Match	COP1	
12		Leave	BUF1, 1	
13		Terminate		
14	MET4	Seize	DCH1	
15		Leave	BUF1, 1	
16		Transfer	, NEX1+1	
17	NEX1	Seize	DCH1	
		Advance	PB1	Передача по DCH1

18		Release	DCH1	
19		ASSIGN	1, 1, , PB	
20	MET2	Enter	BUF2, 1	
21		Seize	CPU2	
22		Advance	2	Обработка в CPU2
23		Leave	BUF2, 1	
24		Release	CPU2	
25		Enter	BUF3, 1	
26		Test E	PB2, K2, MET5	
27		Test E	PB1, K20, COP2	
28		Split	.1, NEX2	
29	COP2	Match	COP2	
30		Leave	BUF3, 1	
31		Terminate		
32	MET5	Seize	DCH2	
33		Leave	BUF3, 1	
34		Transfer	, NEX2+1	
35	NEX2	Seize	DCH2	
36		Advance	PB1	Передача по DCH2
37		Release	DCH2	
38		Assign	1, 1, , PB	
39		Transfer	, MET1	
40	GEN2	Generate	25, FN EXPON, , , , 2PB, 1PF	
41		Assign	2,20, , PB	
42		Assign	2, 2 , , PB	
43		Transfer	, MET2	
44	GEN1	Generate	25, FN EXPON, , , , 2PB, 1PF	
45		Assign	1, 20, , PB	
46		Assign	2, 1, , PB	
47		Transfer	, MET1	
48		Generate	1, , 10000	Системные часы
49		Terminate	1	
		Start	1	
		End		

Основные пояснения к тексту программы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер карты	Номер блока	Пояснения
1	2	3
1	-	Перераспределение оперативной памяти
2	-	Запуск симулятора
3	-	Блокировка печати программы в абсолютных кодах
4-8	-	Задание экспоненциального распределения
9	1	Занятие одного места в накопителе BUF4
10-13	2-5	Обработка в процессоре CPU1 и освобождение одного места в накопителе BUF4

1	2	3
10-13	2-5	Обработка в процессоре CPU1 и освобождение одного места в накопителе BUF4
14	6	Вхождение в накопитель BUF1
15	7	Проверка признака «своих» транзактов
16	8	Проверка признака нового транзакта
17	9	Создание копии транзакта
18	10	Блокировка транзакта в накопителе BUF1 до прихода подтверждения о приеме копии пакета
19	11	Стирание транзакта из накопителя BUF1
20	12	Уничтожение транзакта
21-23	13-15	Занятие канала связи «чужими» транзактами
24	16	Занятие канала связи «своими» транзактами
25	17	Обработка в канале связи DCH1
26	18	Освобождение канала связи DCH1
27	19	Присвоение транзакту признака копии
28-47	20-39	Блоки, аналогичные блокам 1-19 (моделируют второе направление дуплексного канала связи)
48-51	40-43	Операторы генерации входного потока транзактов для «прямого» направления передачи
52-55	44-47	Операторы генерации входного потока для «обратного» направления передачи
56-57	48-49	Системные часы на 10000 единиц времени
58	-	Счетчик завершения
59	-	Окончание моделирования

С целью уменьшения затрат машинного времени, увеличения точности и достоверности результатов моделирования, проверки адекватности модели и т.п. необходимо правильно спланировать машинный эксперимент.

Пусть для рассматриваемого примера заданы следующие исходные данные (набор параметров и переменных): емкости накопителей УК  $L_i=20$  пакетов,  $i=\overline{1,4}$ ; средний интервал времени между моментами поступления пакетов в УК  $\lambda_k=25$  единиц времени,  $k=\overline{1,2}$ ; время передачи пакета данных по ДКС  $t_j^D=20$  единиц времени,  $j=\overline{1,2}$ ; время передачи пакета подтверждения по ДКС  $t_j^P=1$  единица времени,  $j=\overline{1,2}$ ; время обработки пакета в ЦП  $t_j^{CPU}=2$  единицы времени,  $j=\overline{1,2}$ ; точность оценки характеристик  $\varepsilon=0,1$ , достоверность оценки характеристик  $Q=0,95$ .

Введя обозначения факторов  $x_1=L_i$ ,  $x_2=\lambda_k$ ,  $x_3=t_j^D$  и проведя кодирование их значений при установлении для каждого фактора двух уровней, получим план полного факторного эксперимента типа  $2^3$ .

Номер испытания	1	2	3	4	5	6	7	8
$x_1$	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
$x_2$	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1
$x_3$	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1

В рассматриваемом примере, учитывая его простоту, можно ограничиться проведением полного факторного эксперимента.

Тактическое планирование машинного эксперимента для рассматриваемого примера моделирования фрагмента СПД с целью оценки вероятностно-временных характеристик процесса ее функционирования проведем для определения необходимого числа реализаций при заданной точности и достоверности результатов моделирования. В данном случае для оценки необходимого числа реализаций воспользуемся неравенством Чебышева  $P\{|E - \tilde{E}| \geq q\sigma\} \leq 1/q^2$ , т.е. при выборке объема  $N$  по меньшей мере  $(1 - 1/q^2)$  измерений находятся на расстоянии не более  $q$  среднеквадратических отклонений. В этом неравенстве  $E$  – значения показателя эффективности СПД;  $\tilde{E}$  – оценка показателя эффективности СПД;  $|E - \tilde{E}| = \varepsilon$  – абсолютная точность оценки;  $q$  – любое положительное число.

С учетом необходимости определения числа реализаций представим рассматриваемое неравенство как  $P\{|E - \tilde{E}| > q\varepsilon\} = n/N = (1 - P_d)$ , где  $P_d$  – доверительная вероятность,  $n$  – число измерений с результатом  $\varepsilon \geq q\varepsilon$ . Тогда  $(1 - P_d) = 1/(q^2 N)$ . Откуда  $N = q^2 / (1 - P_d)$ .

Так, например, для получения оценки эффективности, заданной с точностью  $\varepsilon = \sigma/10$  и доверительной вероятностью  $P_d = 0,95$ , т.е. при  $P\{\varepsilon \leq \sigma/10\} \leq 0,05$ , необходимо имитировать доставку в СПД  $N = 10^2 / 0,05 = 2000$  пакетов.

В данном примере моделирования фрагмента СПД наряду со стандартной статистикой о функционировании устройств (табл. 2) и накопителей (табл. 3) использованы также возможности по сбору статистики в табл. 4, на основе которой построена машинная гистограмма распределения времени передачи пакета данных по фрагменту СПД, которая приведена на рис. 4. Применение статистической таблицы позволило получить более широкий набор характеристик процесса передачи пакетов в СПД, а гистограмма более наглядно представила полученные в результате моделирования характеристики процесса функционирования СПД. Кроме того, с помощью такой гистограммы можно достаточно просто оценить некоторые дополнительные характеристики, например сделать и проверить предположения о характере закона распределения времени передачи пакета, оценить вероятность превышения заданного времени передачи пакета и т.д.

Таблица 2

## Статистика о функционировании процессоров и каналов связи СПД

Facility	Number entries	Average time/trans	Average total time	Percent availability	Transaction number seizing permeationg
CPU1	1259	2,000	0,251	100,0	15
DCH1	836	10,477	0,875	100,0	32
CPU2	1260	2,000	0,252	100,0	15
DCH2	838	10,606	0,888	100,0	39

Таблица 3

## Статистика о функционировании накопителей узлов коммутации СПД

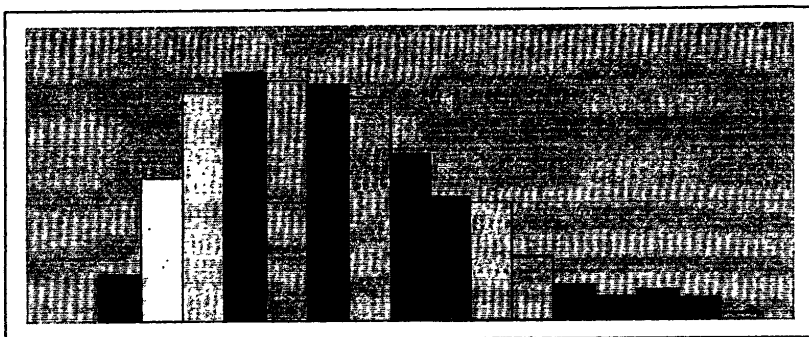
Storage	Capacity	Average contents	Entries	Average time/unit	Average total time	Percent availability	Current contents
BUF1	214/483647	0,329	1259	2,617	0,000	100,0	2
BUF2	214/483647	7,083	1259	56,261	0,000	100,0	12
BUF3	214/483647	0,333	1261	2,345	0,000	100,0	2
BUF4	214/483647	7,245	1259	57,543	0,000	100,0	11

Таблица 4

## Статистическая таблица характеристик процесса функционирования СПД

Entries in table	Mean argument	Standard deviation	Sum of argument			
1662	123,854	61,750	205846,00			
Upper limit	Observed frequency	Per cent of total	Cumulative percentage	Cumulative remainder	Multiple of mean	Deviation from mean
10	0	0,00	0,0	100,0	0,080	-1,843
30	40	2,40	2,4	97,5	0,242	-1,519
50	122	7,34	9,7	90,2	0,403	-1,196
70	194	11,67	21,4	78,5	0,565	-0,872
90	212	12,75	34,1	65,8	0,726	-0,548
110	204	12,27	46,4	53,5	0,888	-0,224
130	200	12,03	58,4	41,5	1,049	0,099
150	190	11,43	69,9	30,0	1,211	0,423
170	142	8,54	78,4	21,5	1,372	0,747
190	104	6,25	84,7	15,2	1,534	1,071
210	100	6,01	90,7	9,2	1,695	1,039
230	54	3,24	93,9	6,0	1,857	1,718
250	30	1,80	95,7	4,2	2,018	2,042
270	20	1,20	96,9	3,0	2,179	2,366
290	26	1,56	98,5	1,4	2,341	2,690
310	18	1,08	99,6	0,3	2,502	3,014
330	6	0,36	100,0	0,0	2,664	3,338

Remaining frequencies are all zero



10 30 50 70 90 110 130 150 170 190 210 230 250 270 290 310 330

Рис.4. Гистограмма распределения времени передачи пакета данных в СПД

Для рассматриваемого примера моделирования процесса функционирования фрагмента СПД можно сделать вывод, что полученные на ЭВМ результаты отражают основные особенности функционирования объекта и позволяют качественно и количественно оценить его поведение. На основе полученных оценок характеристик можно, например, дать следующие рекомендации. Загрузка процессоров – порядка 25%, а загрузка каналов связи СПД приближается к 90%, т.е. очевидна несбалансированность производительностей процессоров и каналов связи СПД. Поэтому в зависимости от допустимого времени передачи пакета в СПД можно либо снизить производительность процессоров, что удешевит систему, либо повысить производительность каналов связи, обеспечивая при этом заданное качество передачи данных.

## 5. ЗАДАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

**Задание 1.** Система передачи данных обеспечивает передачу пакетов данных из пункта А в пункт С через транзитный пункт В. В пункте А пакеты поступают через  $10 \pm 5$  мс. Здесь они буферизуются в накопителе емкостью 20 пакетов и передаются по любой из двух линий АВ1 – за время 20 мс или АВ2 – за время  $20 \pm 5$  мс. В пункте В они снова буферизуются в накопителе емкостью 25 пакетов и далее передаются по линиям ВС1 (за  $25 \pm 3$  мс) и ВС2 (за 25 мс). Причем пакеты из АВ1 поступают в ВС1, а из АВ2 – в ВС2. Чтобы не было переполнения накопителя, в пункте В

вводится пороговое значение его емкости – 20 пакетов. При достижении очередью порогового значения происходит подключение резервной аппаратуры и время передачи снижается для линий BC1 и BC2 до 15 мс.

Смоделировать прохождение через систему передачи данных 500 пакетов. Определить вероятность подключения резервной аппаратуры и характеристики очереди пакетов в пункте В. В случае возможности его переполнения определить необходимое для нормальной работы пороговое значение емкости накопителя.

**Задание 2.** Система обработки информации содержит мультиплексный канал и три ЭВМ. Сигналы от датчиков поступают на вход канала через интервалы времени  $10 \pm 5$  мкс. В канале они буферизуются и предварительно обрабатываются в течение  $10 \pm 3$  мкс. Затем они поступают на обработку в ту ЭВМ, где имеется наименьшая по длине входная очередь. Емкости входных накопителей во всех ЭВМ рассчитаны на хранение величин 10 сигналов. Время обработки сигнала в любой ЭВМ равно 33 мкс.

Смоделировать процесс обработки 500 сигналов, поступающих с датчиков. Определить средние времена задержки сигналов в канале и ЭВМ и вероятности переполнения входных накопителей. Обеспечить ускорение обработки сигнала в ЭВМ до 25 мкс при достижении суммарной очереди сигналов значения 25 единиц.

**Задание 3.** На участке термической обработки выполняются цементация и закаливание шестерен, поступающих через  $10 \pm 5$  мин. Цементация занимает  $10 \pm 7$  мин, а закаливание –  $10 \pm 6$  мин. Качество определяется суммарным временем обработки. Шестерни с временем обработки больше 25 мин покидают участок, с временем обработки от 20 до 25 мин передаются на повторную закалку и при времени обработки меньше 20 мин должны пройти повторную полную обработку. Детали с суммарным временем обработки меньше 20 мин считаются вторым сортом.

Смоделировать процесс обработки на участке 400 шестерен. Определить функцию распределения времени обработки и вероятности повторения полной и частичной обработки. При выходе продукции без повторной обработки менее 90% обеспечить на участке мероприятия, дающие гарантированный выход продукции первого сорта 90%.

**Задание 4.** В системе передачи данных осуществляется обмен пакетами данных между пунктами А и В по дуплексному каналу связи. Пакеты поступают в пункты системы от абонентов с интервалами времени между ними  $10 \pm 3$  мс. Передача пакета занимает 10 мс. В пунктах имеются буферные регистры, которые могут хранить два пакета (включая передаваемый). В случае прихода пакета в момент занятости регистров

пунктам системы предоставляется выход на спутниковую полудуплексную линию связи, которая осуществляет передачу пакетов данных за  $10 \pm 5$  мс. При занятости спутниковой линии пакет получает отказ.

Смоделировать обмен информацией в системе передачи данных в течение 1 мин. Определить частоту вызовов спутниковой линии и ее загрузку. В случае возможности отказов определить необходимый для безотказной работы системы объем буферных регистров.

**Задание 5.** Специализированная вычислительная система состоит из трех процессоров и общей оперативной памяти. Задания, поступающие на обработку через интервалы времени  $5 \pm 2$  мин, занимают объем оперативной памяти размером в страницу. После трансляции первым процессором в течение  $5 \pm 1$  мин их объем увеличивается до двух страниц и они поступают в оперативную память. Затем после редактирования во втором процессоре, которое занимает  $2,5 \pm 0,5$  мин на страницу, объем возрастает до трех страниц. Отредактированные задания через оперативную память поступают в третий процессор на решение, требующее  $1,5 \pm 0,4$  мин на страницу, и покидают систему, минуя оперативную память.

Смоделировать работу вычислительной системы в течение 50 ч. Определить характеристики занятия оперативной памяти по всем трем видам заданий.

**Задание 6.** На вычислительном центре в обработку принимаются три класса заданий А, В и С. Исходя из наличия оперативной памяти ЭВМ задания классов А и В могут решаться одновременно, а задания класса С монополизируют ЭВМ. Задания класса А поступают через  $20 \pm 5$  мин, класса В – через  $20 \pm 10$  мин и класса С – через  $30 \pm 10$  мин и требуют для выполнения: класс А –  $20 \pm 5$  мин, класс В –  $21 \pm 3$  мин и класс С –  $28 \pm 5$  мин. Задачи класса С загружаются в ЭВМ, если она полностью свободна. Задачи классов А и В могут дозагружаться к решаемой задаче.

Смоделировать работу ЭВМ за 80 ч. Определить ее загрузку.

**Задание 7.** В студенческом машинном зале расположены две ЭВМ и одно устройство подготовки данных (УПД). Студенты приходят с интервалом в  $8 \pm 2$  мин и треть из них хочет использовать УПД и ЭВМ, а остальные только ЭВМ. Допустимая очередь в машинном зале составляет четыре человека, включая работающего на УПД. Работа на УПД занимает  $8 \pm 1$  мин, а на ЭВМ – 17 мин. Кроме того, 20% работавших на ЭВМ возвращается для повторного использования УПД и ЭВМ.

Смоделировать работу машинного зала в течение 60 ч. Определить загрузку УПД, ЭВМ и вероятности отказа в обслуживании вследствие переполнения очереди. Определить соотношение желающих работать на ЭВМ и на УПД в очереди.



**Задание 8.** К серверу подключено четыре ЭВМ, с которых осуществляется решение задач. По команде с ЭВМ выполняются операции редактирования, трансляции, планирования и решения. Причем, если хотя бы одна ЭВМ выполняет планирование, остальные вынуждены простаивать из-за нехватки оперативной памяти. Если две ЭВМ выдают требование на решение, то оставшиеся два простаивают, и если работают три ЭВМ, выдающих задания на трансляцию, то оставшаяся ЭВМ блокируется. Интенсивности поступления задач различных типов равны. Задачи одного типа от одной ЭВМ поступают через экспоненциально распределенные интервалы времени со средним значением 160 с. Выполнение любой операции длится 10 с.

Смоделировать работу сервера в течение 4 ч. Определить загрузку процессора, вероятности простоя ЭВМ и частоту одновременного выполнения трансляции с трех ЭВМ.

**Задание 9.** В системе передачи цифровой информации передается речь в цифровом виде. Речевые пакеты передаются через два транзитных канала, буферизуясь в накопителях перед каждым каналом. Время передачи пакета по каналу составляет 5 мс. Пакеты поступают через  $6 \pm 3$  мс. Пакеты, передававшиеся более 10 мс, на выходе системы уничтожаются, так как их появление в декодере значительно снижает качество передаваемой речи. Уничтожение более 30% пакетов недопустимо. При достижении такого уровня система за счет ресурсов ускоряет передачу по 4 мс на канал. При снижении уровня до приемлемого происходит отключение ресурсов.

Смоделировать 10 с работы системы. Определить частоту уничтожения пакетов и частоту подключения ресурса.

**Задание 10.** Сервер обслуживает три ЭВМ по круговому циклическому алгоритму, предоставляя каждой ЭВМ 30 с. Если в течение этого времени задание обрабатывается, то обслуживание завершается; если нет, то остаток задачи становится в специальную очередь, которая использует свободные циклы ЭВМ, т.е. задача обслуживается, если на какой-либо ЭВМ нет заявок. Заявки на ЭВМ поступают через  $30 \pm 5$  с и имеют длину  $300 \pm 50$  знаков. Скорость обработки заданий сервером равна 10 знаков/с.

Смоделировать 5 ч работы сервера. Определить загрузку сервера, параметры очереди неоконченных заданий. Определить величину цикла ЭВМ, при которой все заявки будут обслужены без специальной очереди.

**Задание 11.** В узел коммутации сообщений, состоящий из входного буфера, процессора, двух исходящих буферов и двух выходных линий, поступают сообщения с двух направлений. Сообщения с одного направления поступают во входной буфер, обрабатываются в процессоре, буферизуются в выходном буфере первой линии и передаются по

выходной линии. Сообщения со второго направления обрабатываются аналогично, но передаются по второй выходной линии. Применяемый метод контроля потоков требует одновременного присутствия в системе не более трех сообщений на каждом направлении. Сообщения поступают через интервалы  $15 \pm 7$  мс. Время обработки в процессоре равно 7 мс на сообщение, время передачи по выходной линии равно  $15 \pm 5$  мс. Если сообщение поступает при наличии трех сообщений в направлении, то оно получает отказ.

Смоделировать работу узла коммутации в течение 10 с. Определить загрузки устройств и вероятность отказа в обслуживании из-за переполнения буфера направления. Определить изменения в функции распределения времени передачи при снятии ограничений, вносимых методом контроля потоков.

**Задание 12.** Распределенный банк данных системы сбора информации организован на базе ЭВМ, соединенных дуплексным каналом связи. Поступающий запрос обрабатывается на первой ЭВМ и с вероятностью 50% необходимая информация обнаруживается на месте. В противном случае необходима посылка запроса во вторую ЭВМ. Запросы поступают через  $10 \pm 3$  с, первичная обработка запроса занимает 2 с, выдача ответа требует  $18 \pm 2$  с, передача по каналу связи занимает 3 с. Временные характеристики второй ЭВМ аналогичны первой.

Смоделировать прохождение 400 запросов. Определить необходимую емкость накопителей перед ЭВМ, обеспечивающую безотказную работу системы, и функцию распределения времени обслуживания заявки.

**Задание 13.** Система автоматизации проектирования состоит из сервера и трех ЭВМ. Каждый проектировщик формирует задание на расчет в интерактивном режиме. Набор строки задания занимает  $10 \pm 5$  с. Получение ответа на строку требует 3 с работы сервера и 5 с работы ЭВМ. После набора десяти строк задание считается сформированным и поступает на решение, при этом в течение  $10 \pm 3$  с сервер прекращает выработку ответов на вводимые строки. Вывод результата требует 8 с работы ЭВМ. Анализ результата занимает у проектировщика 30 с, после чего цикл повторяется.

Смоделировать работу системы в течение 6 ч. Определить вероятность простоя проектировщика из-за занятости сервера и коэффициент загрузки сервера.

**Задание 14.** Для обеспечения надежности АСУ ТП в ней используется две ЭВМ. Первая ЭВМ выполняет обработку данных о технологическом процессе и выработку управляющих сигналов, а вторая находится в «горячем резерве». Данные в ЭВМ поступают через  $10 \pm 2$  с, обрабатываются в течение 3 с, затем посылаются управляющий сигнал,

поддерживающих заданный темп процесса. Если к моменту отправки следующего набора данных не получен управляющий сигнал, то интенсивность выполнения технологического процесса уменьшается вдвое и данные посылаются через  $20 \pm 4$  с. Основная ЭВМ каждые 30 с посылает резервной ЭВМ сигнал о работоспособности. Отсутствие сигнала означает необходимость включения резервной ЭВМ вместо основной. Характеристики обеих ЭВМ одинаковы. Подключение резервной ЭВМ занимает 5 с, после чего она заменяет основную до восстановления, а процесс возвращается к нормальному темпу. Отказы ЭВМ происходят через  $300 \pm 30$  с. Восстановление занимает 100 с. Резервная ЭВМ абсолютно надежна.

Смоделировать 1 ч работы системы. Определить среднее время нахождения технологического процесса в заторможенном состоянии и среднее число пропущенных из-за отказов данных.

**Задание 15.** На вычислительный центр через  $300 \pm 100$  с поступают задания длиной  $500 \pm 200$  байт. Скорость ввода, вывода и обработки заданий – 100 байт/мин. Задания проходят последовательно ввод, обработку и вывод, буферизуясь перед каждой операцией. После вывода 5% заданий оказываются выполненными неправильно вследствие сбоев и возвращаются на ввод. Для ускорения обработки задания в очередях располагаются по возрастанию их длины, т.е. короткие сообщения обслуживают в первую очередь. Задания, выполненные неверно, возвращаются на ввод и во всех очередях обслуживаются первыми.

Смоделировать работу вычислительного центра в течение 30 ч. Определить необходимую емкость буферов и функцию распределения времени обслуживания заданий.

**Задание 16.** Вычислительная система включает три ЭВМ. В систему в среднем через 30 с поступают задания, которые попадают в очередь на обработку к первой ЭВМ, где они обрабатываются около 30 с. После этого задание поступает одновременно во вторую и третью ЭВМ. Вторая ЭВМ может обработать задание за  $14 \pm 5$  с, а третья – за  $16 \pm 1$  с. Окончание обработки задания на любой ЭВМ означает снятие ее с решения с той и другой машины. В свободное время вторая и третья ЭВМ заняты обработкой фоновых задач.

Смоделировать 4 ч работы системы. Определить необходимую емкость накопителей перед всеми ЭВМ, коэффициенты загрузки ЭВМ и функцию распределения времени обслуживания заданий. Определить производительность второй и третьей ЭВМ на решение фоновых задач при условии, что одна фоновая задача решается 2 мин.

*Отчет должен содержать:*

1. План полного факторного эксперимента.
2. Текст программы.
3. Результаты моделирования наилучшего и наихудшего вариантов.
4. Объяснение влияния параметров (всех факторов на двух уровнях) на результаты моделирования.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS: Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.
2. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учебное пособие для вузов. М.: Высш.шк., 1998. 319 с.
3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Курсовое проектирование. М.: Высш.шк., 1988. 100 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ	3
1. ПРЕИМУЩЕСТВА ЯЗЫКОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ	3
2. СВОДНОЕ ОПИСАНИЕ БЛОКОВ ЯЗЫКА GPSS	4
2.1. Вычислительные средства	4
2.2. Генерация и уничтожение транзактов	6
2.3. Изменение параметров транзактов	7
2.4. Ансамбли транзактов	7
2.5. Приборы	8
2.6. Многоканальные устройства	9
2.7. Блоки проверки условий	9
2.8. Построение гистограмм	11
2.9. Цели пользователя	12
2.10. Служебные карты	13
3. ПРИМЕРЫ РАСПЕЧАТКИ ПРОГРАММ	13
4. ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ЯЗЫКЕ GPSS	18
5. ЗАДАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ	28
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	34

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ НА ЯЗЫКЕ GPSS

Составитель Дружинина Ольга Геннадиевна

Редактор Н.П. Кубыщенко

---

Подписано в печать	28.03.2001	Формат 60x84 1/16
Бумага типографская	Офсетная печать	Усл. печ.л. 2,09
Уч.-изд. л. 1,57	Тираж 75	Заказ 79      Цена «С»

---

Издательство УГТУ-УПИ  
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

12-34

