

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Московский Авиационный  
Институт (Национальный Исследовательский Университет)»**

**Институт №3 Системы управления, информатика и  
электроэнергетика**

**Кафедра 304 «Вычислительные машины, системы и сети»**

**Курсовая работа**

**«Исследование производительности комплекса технических  
средств САПР»**

**Вариант №106**

**Выполнил:**

**Давыдов А.П.**

**Студент группы: М30-311Б-21**

**Принял преподаватель:  
доцент каф.304, к.т.н., Жигалов В.И.**

**Москва 2024 г.**

Задание на курсовую работу по дисциплине «Имитационное моделирование»  
студенту группы МЗО-311Б-21  
Давыдову Андрею Павловичу

Разработать имитационную модель мультикомпьютерной ВС.

Отчетные материалы: пояснительная записка.

Пояснительная записка должна содержать все разделы, отражающие этапы моделирования ВС, должны быть пронумерованы страницы, сделаны ссылки на используемую литературу и составлено оглавление.

Пояснительная записка к курсовой работе должна содержать следующие разделы:

- задание на КР, подписанное преподавателем и студентом;
- оглавление;
- структурную схему моделируемой системы, описание функционирования ВС;
- описание имитационной модели;
- отложенную программу моделирования функционирования ВС на языке GPSSH;
- результаты моделирования функционирования ВС;
- анализ результатов моделирования функционирования ВС;
- список литературы.

Литература:

1. О.М. Брехов, Г.А. Звонарева, А.В. Корнеенкова. Имитационное моделирование: Учеб. пособие. – М.: МАИ, 2015.-324 с.
2. Г. А. Звонарева, А.В. Корнеенкова. Моделирование мультикомпьютерной вычислительной системы. Под редакцией проф. Брехова О.М.: учебно-методическое пособие - М.: МАИ, 2022 (электронная версия).

Срок окончания:	16	мая	2024 г.
Контроль выполнения: 100%	16	мая	2024 г.

Технические требования для моделирования функционирования ВС приведены в [2].

Параметры рабочей нагрузки и структуры, а также алгоритмы функционирования определяются в соответствии с вариантом задания I.

Вариант задания 106

Руководитель:

доцент каф. 304, к.т.н.

Жигалов В.И.

---

Исполнитель:

студент гр. МЗО-311Б-21

Давыдов А.П.

---

## **Оглавление**

Задание.....	4
Структурная схема моделируемой системы.....	6
Структурные схемы алгоритмов моделирования процессов в имитируемой системе.....	7
Описание имитационной модели.....	11
Программа моделирования на GPSS.....	14
Содержание статистического отчета.....	18

## **Задание**

Составить программу моделирования для имитации функционирования комплекса технических средств САПР в соответствии с вариантом задания. Принять, что после обработки на АРМ заявка с вероятностью 0,7 поступает на терминал, а с вероятностью 0,3 передается через КММ на ЦВК. Определить время, в течение которого будет обработано заданное число заявок. Проанализировать собранную статистику.

$t_i$  – интервал времени, через который заявки поступают в систему (на АРМ<sub>i</sub>)

$\Delta t_i$  – время поступления первой заявки (если не равно 0)

$n_i$  – количество заявок

$tk_i$  – время обслуживания на КММ заявки, приходящей с АРМ<sub>i</sub>

Т – время обработки заявок

### **Вариант 10б)**

Система включает в себя устройства Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub>, Т<sub>3</sub>, АРМ<sub>1</sub>, АРМ<sub>2</sub>, АРМ<sub>3</sub>, КММ, ЦВК. Порядок обработки заявок:

КММ        в соответствии с алгоритмом FIFO, а при одновременном поступлении заявок в следующем порядке:  
заявки, поступившие с АРМ<sub>1</sub>, АРМ<sub>2</sub> и АРМ<sub>3</sub> (равноприоритетны),  
заявки любого типа, поступившие с ЦВК (равноприоритетны).

Т<sub>i</sub>            заявки, поступившие с АРМ<sub>i</sub>,  
(i = 1,2,3)    заявки, поступившие с ЦВК

Все заявки, поступающие на АРМ<sub>i</sub> (i = 1,2,3), равноприоритетны.

Параметры  
модели

Вариант 6)

Поступление заявок в систему  $t_1 = 120 \pm 5, n_1 = 57$   
 $t_2 = 200, n_2 = 18$   
 $t_3 = 90 \pm 15, n_3 = 45$

$T_1$   $T = 30 \pm 10$

$T_2$   $T = 33 \pm 5$

$T_3$   $T = 35 \pm 12$

$APM_1$   $P_1 = 0.1, T = 16$

$APM_2$   $P_2 = 0.7, T = 25$

$APM_3$   $P_3 = 0.2, T = 30$

ЦВК  $T = 40 \pm 5$

KMM  $tk_1 = 2$

$tk_2 = 3$

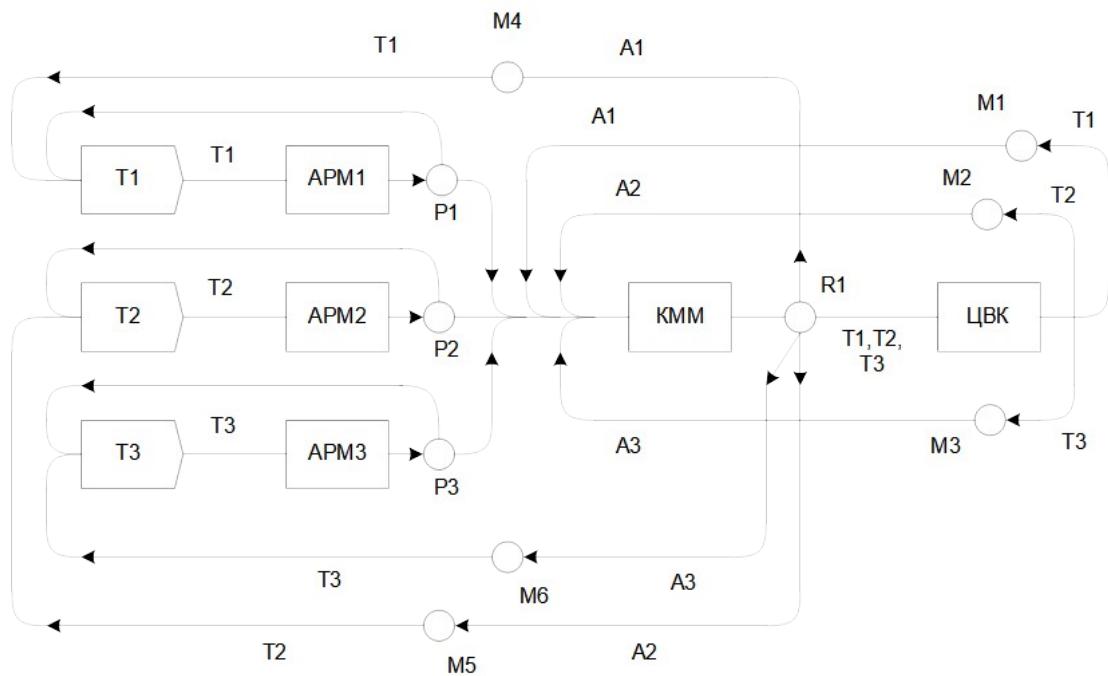
$$tk_3 = \begin{cases} P_1 = 0.2, & tk_3 = 3 \\ P_2 = 0.8, & tk_3 = 1 \end{cases}$$

Условия окончания обслуживания заявок Систему покидает:  
— каждая 5-я заявка, поступившая на  $T_1$  с ЦВК;  
— каждая 4-я заявка, поступившая на  $T_2$  с ЦВК;  
— каждая 3-я заявка, поступившая на  $T_3$  с ЦВК;  
(до обработки на  $T_i$ )

Условие окончания моделирования Количество обработанных на ЦВК заявок достигло 300

Определить Количество заявок каждого типа, обработанных и прекративших обслуживание для каждого из  $T_i$  ( $i = 1, 2, 3$ )

## Структурная схема моделируемой системы



## Структурные схемы алгоритмов моделирования процессов в имитируемой системе

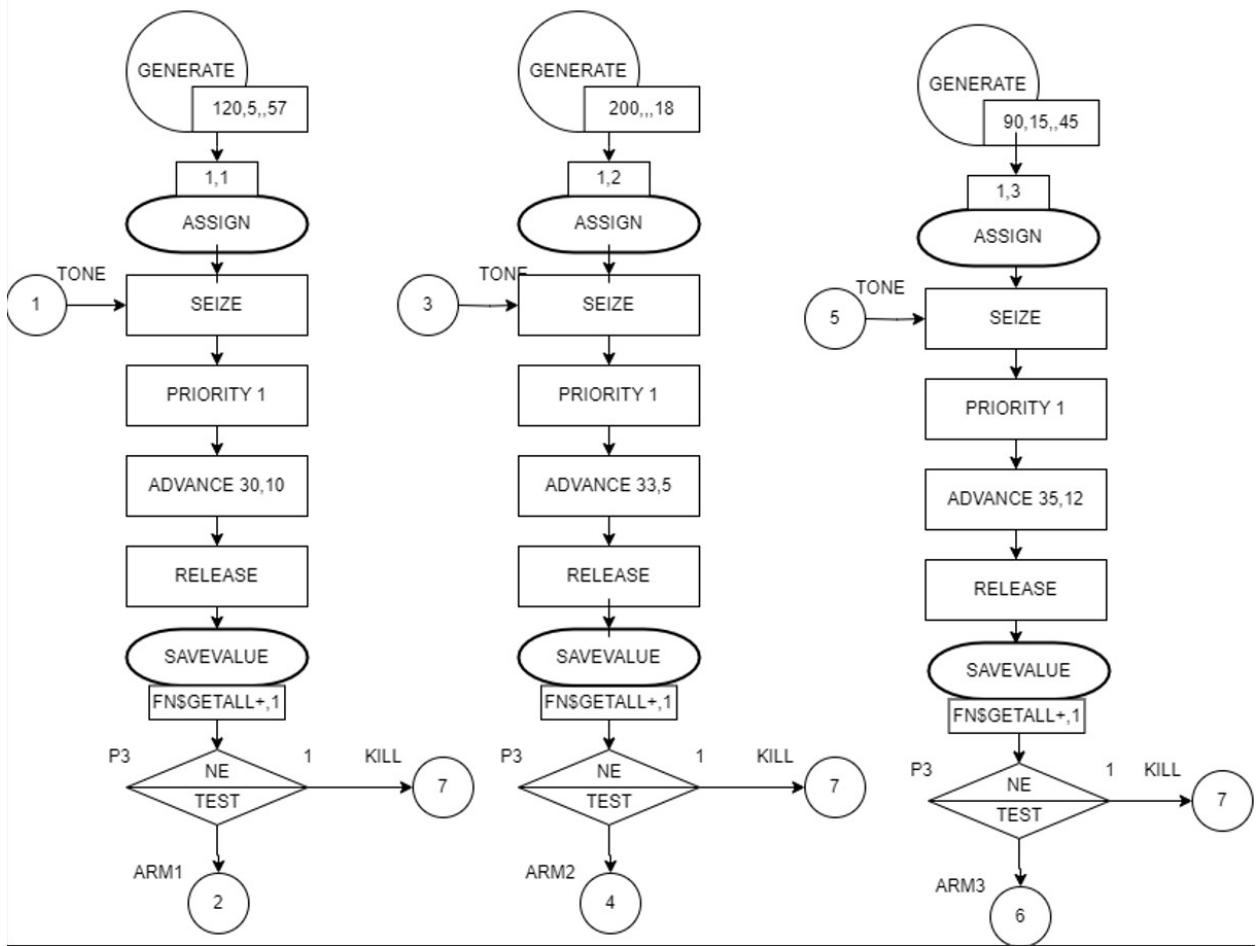


Рис. 1. Структурная схема всех трёх терминалов

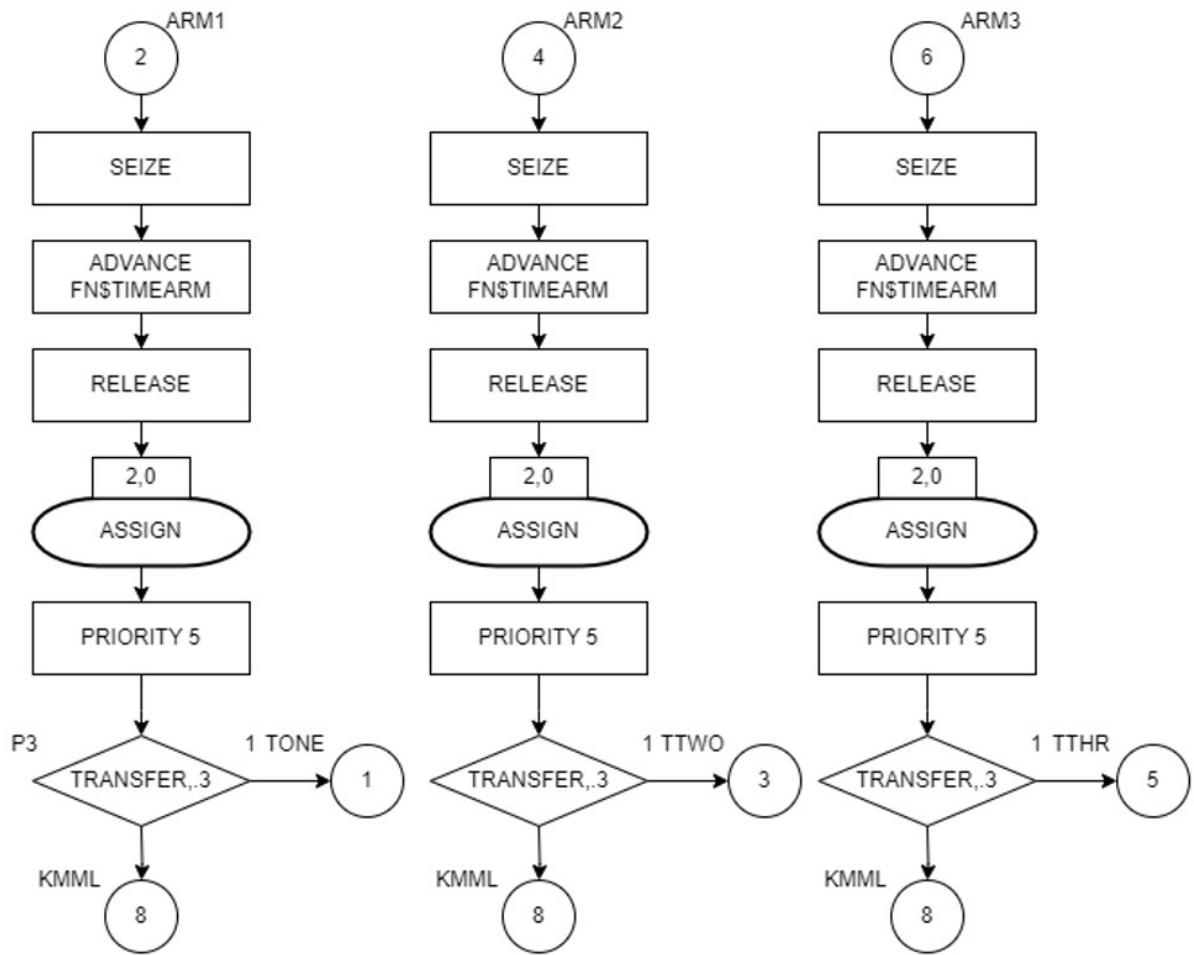


Рис 2. Структурная схема всех трёх АРМ

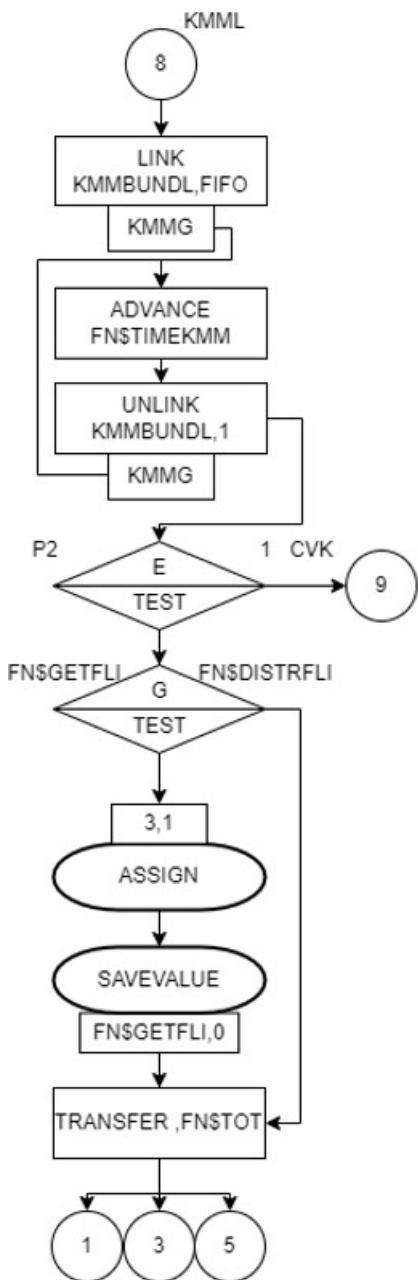


Рис 3. Структурная схема коммутатора малых машин (КММ)

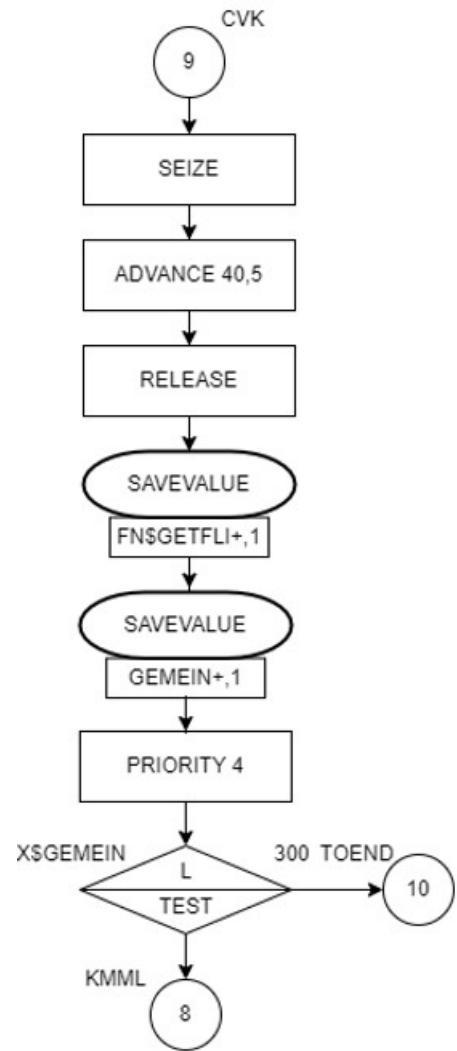


Рис 4. Структурная ЦВК

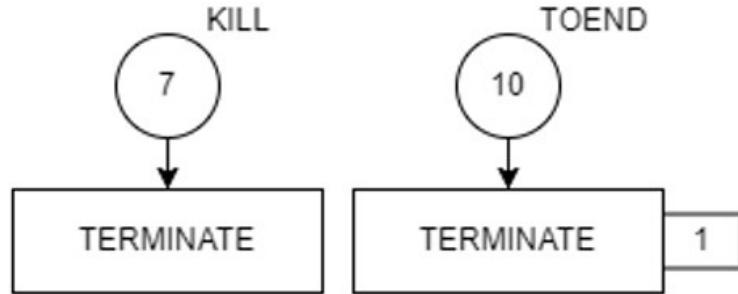


Рис 5. Структурная схема блоков выхода и завершения программы

## Описание имитационной модели

Имитационная модель представляет собой алгоритм, отображающий функционирование исследуемой системы во времени и позволяющий определять производительность сложных систем на основе как детерминированных, так и статистических сведений об их рабочей нагрузке. Взамен детерминированных часто используют статистические сведения о потоке решаемых задач, получаемые на основе регрессионного анализа или других методов статистической обработки, а сама исследуемая ВС представляется в виде некоторой системы массового обслуживания (СМО).

ВС, рассматриваемая как СМО, состоит из объектов (элементов) двух основных типов:

- объекты обслуживания – решаемые в ВС задачи, называемые также заявками или динамическими объектами (в СМО GPSS – транзактами);
- средства обслуживания – аппаратные и программные средства ВС, называемые обслуживающими аппаратами (ОА) и часто объединяемые под названиями ресурсы, каналы или статические объекты, причем ОА делятся, в свою очередь, на устройства и памяти.

Наряду с устройствами и памятью в моделях СМО в качестве элементов используются источники заявок и узлы. Источники заявок имитируют процесс поступления заданий в ВС и могут быть зависимыми и независимыми. Узлы – суть элементы, с помощью которых в модели отображаются пути прохождения заявок в системе, позволяя имитировать разветвления, выход заявок из системы, изменения их параметров.

Состояние каждого  $i$ -го транзакта  $A_i$  в СМО характеризуется двоичной переменной  $v_i$ , причем  $v_i = 1$ , когда транзакт  $A_i$  обслуживается в некотором ОА, и  $v_i = 0$ , когда он ожидает обслуживания в одной из очередей, организуемых операционной системой моделируемой ВС в соответствии с некоторой дисциплиной обслуживания.

Состояние каждого  $j$ -го ОА системы характеризуется двоичной переменной  $w_j = 1$ , когда ОА занят, и  $w_j = 0$ , когда он свободен, а также целочисленной переменной  $r_j$ , соответствующей длине очереди транзактов, ожидающих обслуживания в ОА.

Таким образом, текущее состояние ВС в модели характеризуется векторами состояния  $V\{i = 1, \dots, k\}$ ,  $W\{j = 1, \dots, m\}$ ,  $R\{j = 1, \dots, m\}$ . Изменение хотя бы одного из их компонентов называется событием, причем предполагается, что такие события происходят мгновенно, в дискретные моменты времени  $t_q$ , соответствующие границам тактов  $t$ , на которые разбит интервал моделирования  $T = Qt$ . Функционирование ВС моделируется процессом прохождения транзактов через ОА, образующие СМО. С целью

экономии машинного времени, затрачиваемого на моделирование, в САПР используется так называемый событийный алгоритм, при котором в каждый дискретный момент времени  $q$  ( $q$  – номер такта) рассматриваются лишь те транзакты и ОА, с которыми связано какое-либо событие [1]. В противном случае на каждом такте модельного времени пришлось бы осуществлять полный просмотр всех транзактов и ОА модели. Поскольку в каждый момент времени события происходят лишь в малой части от общего количества транзактов и ОА, то событийный алгоритм позволяет существенно сократить трудоемкость, а, следовательно, и время моделирования ВС.

Исходными данными для построения имитационной модели ВС служат: структурный состав ВС, связи между отдельными ее устройствами, дисциплина обслуживания заявок в устройствах, маршрут обработки каждой заявки в ВС. Эти данные позволяют построить структуру сетевой имитационной модели (СИМ) для данной ВС. Другая часть исходных данных – сведения о рабочей нагрузке и внутренних параметрах ВС (производительность отдельных ее устройств, объемы их памяти и т.п.) – используется для определения параметров модели.

В результате моделирования получают следующие выходные параметры:

1) производительность системы, определяемую как среднее количество обрабатываемых системой заявок в единицу времени, вычисляемое либо по количеству заявок, обработанных в течение заданного интервала времени, либо по времени, необходимому для обслуживания в ВС заданного числа заявок;

2) коэффициенты загрузки отдельных устройств ВС, определяемые как отношение суммарного времени занятого состояния соответствующего ОА к общему времени моделирования;

3) средние длины очередей к ОА, образующих ВС;

4) вероятности обслуживания заявки и т.п.

Составные части имитационных моделей ВС представлены моделями источников заявок, обслуживающих аппаратов-устройств, памяти и средств маршрутизации заявок – различных узлов СИМ.

Модель источника заявок представляет собой алгоритм, по которому вычисляются моменты появления заявок. Модель независимого источника заявок обычно реализуется генератором случайных чисел (ГСЧ) с законом распределения, определяемым исходными данными о рабочей нагрузке, с помощью которого вычисляются интервалы времени между появлениями двух последовательных заявок данного типа. В зависимых источниках очередная заявка на выходе вырабатывается при поступлении на его вход некоторой другой, синхронизирующей заявки.

Модель устройства ВС есть алгоритм определения времени обслуживания заявки. Поскольку время обслуживания в ОА зависит и от объема задания, который точно неизвестен и имитируется типом заявки, и от производительности устройства (внутренний параметр устройства ВС), то в модели этот алгоритм часто реализуется с помощью ГСЧ с заданными законами распределения для заявок каждого из типов. Кроме того, в модель ОА входит алгоритм, управляющий очередями на его входе в соответствии с дисциплиной обслуживания и приоритетами поступающих заявок.

Модель памяти есть алгоритм для определения объема памяти, требующейся при обслуживании заявок различных типов. Он также часто реализуется как ГСЧ. Внутренними параметрами памяти являются ее объем и дисциплина обслуживания. Заявка, поступившая в память, занимает в ней вычисленный объем, но продолжает свой маршрут в модели, а освобождение памяти происходит в момент встречи этой заявки с элементом освобождения памяти.

Узлы СИМ разделяются на три типа:  $M$ ,  $P$  и  $R$ .

Узлы типа  $M$  осуществляют изменение имени (параметра) заявки, фиксируя тем самым этапы ее прохождения по модели.

Узлы типа  $R$  в зависимости от имени направляют заявку по одному из возможных маршрутов. С помощью узлов типа  $M$  и  $R$  осуществляется жесткая (детерминированная) маршрутизация заявок в СИМ.

Узлы типа  $P$  направляют поступившую в них заявку по одному из двух возможных выходных маршрутов в соответствии с заданными их вероятностями.

## Программа моделирования на GPSS

\* P1 = ИЗ КАКОГО ТЕРМИНАЛА ПРИШЛИ

\* P2 = ИЗ СВК ИЛИ ARM ПРИШЛИ

\* P3 = НА УДАЛЕНИЕ

REALLOCATE COM,32720

SIMULATE

\* ===ПЕРЕМЕННЫЕ==

INITIAL X\$GEMEIN,0

INITIAL X\$FIRTOTAL,0

INITIAL X\$SECTOTAL,0

INITIAL X\$THRTOTAL,0

INITIAL X\$FIRFLICK,0

INITIAL X\$SECFLICK,0

INITIAL X\$THRFlick,0

\* ===ФУНКЦИИ==

\*Подсчёт количества транзактов по первому параметру

GETALL FUNCTION P1,E3

1,FIRTOTAL/2,SECTOTAL/3,THRTOTAL

\*подсчёт счётчиков сброса по первому параметру

GETFLI FUNCTION P1,E3

1,FIRFLICK/2,SECFLICK/3,THRFlick

\*Распределитель на счётчики сброса

DISTRFLI FUNCTION P1,E3

1,5/2,4/3,3

\*Возврат в соответствующий Т (Терминал)

TOT FUNCTION P1,E3

1,TONE/2,TTWO/3,TTHR

\*Распределить времени выполнения для ARM

TIMEARM FUNCTION RN1,C3

.1,16/.8,25/1,30

\*Рапределитель для КММ у транзактов, пришедших с Т3

TIMEKMMT FUNCTION RN2,C2

.2,3/1,1

\*Распределитель времени для КММ

TIMEKMM FUNCTION P1,E3

1,2/2,3/3,FN\$TIMEKMMT

\*==МЕТКИ==

\*---УНИЧТОЖЕНИЕ---

KILL TERMINATE

\*---T1---

GENERATE 120,5,,57

ASSIGN 1,1

TONE QUEUE QTONE

SEIZE T1

DEPART QTONE

PRIORITY 1

ADVANCE 30,10 \*(30+-10)

RELEASE T1

SAVEVALUE FN\$GETALL+,1

TEST NE P3,1,KILL

TRANSFER ,ARM1

\*---T2---

GENERATE 200,,18

ASSIGN 1,2

TTWO QUEUE QTTWO

SEIZE T2

DEPART QTTWO

PRIORITY 1

ADVANCE 33,5 \*(33+-5)

RELEASE T2

SAVEVALUE FN\$GETALL+,1

TEST NE P3,1,KILL

TRANSFER ,ARM2

\*---T3---

```
GENERATE 90,15,,45
ASSIGN 1,3
TTHR  QUEUE QTTHR
SEIZE T3
DEPART QTTHR
PRIORITY 1
ADVANCE 35,12 *(35+-12)
RELEASE T3
SAVEVALUE FN$GETALL+,1
TEST NE P3,1,KILL
TRANSFER ,ARM3
```

\*---ARM1---

```
ARM1  QUEUE QARM1
SEIZE ARM1
DEPART QARM1
ADVANCE FN$TIMEARM
RELEASE ARM1
ASSIGN 2,0
PRIORITY 5
TRANSFER .3,TONE,KMML
```

\*---ARM2---

```
ARM2  QUEUE QARM2
SEIZE ARM2
DEPART QARM2
ADVANCE FN$TIMEARM
RELEASE ARM2
ASSIGN 2,0
PRIORITY 5
TRANSFER .3,TTWO,KMML
```

\*---ARM3---

```
ARM3  QUEUE QARM3
SEIZE ARM3
DEPART QARM3
ADVANCE FN$TIMEARM
```

RELEASE ARM3  
ASSIGN 2,0  
PRIORITY 5  
TRANSFER .3,TTHR,KMML

\*---KMM---

KMML QUEUE QKMM  
LINK KMMBUNDL,FIFO,KMMG  
KMMG DEPART QKMM  
ADVANCE FN\$TIMEKMM  
UNLINK KMMBUNDL,KMMG,1  
TEST E P2,1,CVK \*Второй параметр показывает, откуда пришли. 0=ARM, 1=CVK(Передача в терминал)  
TEST G FN\$GETFLI,FN\$DISTRFLI,KMMSK  
ASSIGN 3,1  
SAVEVALUE FN\$GETFLI,0 \*аннулируем соответствующий счётчик  
KMMSK TRANSFER ,FN\$TOT

\*---CVK---

CVK ASSIGN 2,1  
QUEUE QCVK  
SEIZE CVK  
DEPART QCVK  
ADVANCE 40,5  
RELEASE CVK  
SAVEVALUE FN\$GETFLI+,1  
SAVEVALUE GEMEIN+,1  
PRIORITY 4  
TEST L X\$GEMEIN,300,TOEND  
TRANSFER ,KMML

\*---КОНЕЦ---

TOEND TERMINATE 1

START 1  
END

## Содержание статистического отчета

Facilities: 1=T1      2=T2      3=T3      35=ARM1      43=ARM2      51=ARM3

69=CVK

Queues: 1=QTONE      2=QTTWO      3=QTTHR      4=QARM1      5=QARM2      6=QARM3

7=QKMM      8=QCVK

Functions: 1=GETALL      2=GETFLI      3=DISTRFLI      4=TOT      5=TIMEARM  
6=TIMEKMMT

7=TIMEKMM

Fullword Savexes: 1=GEMEIN      2=FIRTOTAL      3=SECTOTAL      4=THRTOTAL      5=FIRFLICK  
6=SECFLICK

7=THRFLICK

User Chains: 1=KMMBUNDL

Parameters: 1      2      3

Random Numbers: 1      2

Symbol    Value    EQU    Defns    Context    References by Statement Number

FIRFLICK	5	Absolute	69
FIRTOTAL	2	Absolute	65
SECFLICK	6	Absolute	69
SECTOTAL	3	Absolute	65
THRFLICK	7	Absolute	69
THRTOTAL	4	Absolute	65
TONE	4	Absolute	77
TTHR	26	Absolute	77
TTWO	15	Absolute	77

ARM1	35	135	Block	106
ARM2	43	145	Block	119
ARM3	51	155	Block	132
CVK	69	177	Block	170
KILL	1	93	Block	105 118 131
KMMG	61	167	Block	166 169
KMML	59	165	Block	142 152 162 187
KMMSK	68	174	Block	171

TOEND	80	190	Block	186		
TONE	4	98	Block	142		
TTHR	26	124	Block	162		
TTWO	15	111	Block	152		
ARM1	35	Facility	136	139		
ARM2	43	Facility	146	149		
ARM3	51	Facility	156	159		
CVK	69	Facility	179	182		
T1	1	Facility	99	103		
T2	2	Facility	112	116		
T3	3	Facility	125	129		
QARM1	4	Queue	135	137		
QARM2	5	Queue	145	147		
QARM3	6	Queue	155	157		
QCVK	8	Queue	178	180		
QKMM	7	Queue	165	167		
QTONE	1	Queue	98	100		
QTTHR	3	Queue	124	126		
TTTWO	2	Queue	111	113		
DISTRFLI	3	72	Function	171		
GETALL	1	64	Function	104	117	130
GETFLI	2	68	Function	171	173	183
TIMEARM	5	80	Function	138	148	158
TIMEKMM	7	88	Function	168		
TIMEKMMT	6	84	Function	89		
TOT	4	76	Function	174		
FIRFLICK	5	Fullword	Svx	59		
FIRTOTAL	2	Fullword	Svx	55		
GEMEIN	1	Fullword	Svx	53	184	186

SECFLICK	6	Fullword Svx	60
SECTOTAL	3	Fullword Svx	56
THRFLICK	7	Fullword Svx	61
THRTOTAL	4	Fullword Svx	57

KMMBUNDL 1 User Chain 166 169

Symbol Value EQU Defns Context References by Statement Number

1	1	Parameter	64 68 72 76 88 97 110 123
2	2	Parameter	140 150 160 170 177
3	3	Parameter	105 118 131 172

1	1	Random Nmbr	80
2	2	Random Nmbr	84

Storage Requirements (Bytes)

Compiled Code: 3250

Compiled Data: 256

Miscellaneous: 0

Entities: 5096

Common: 32720

-----  
Total: 41322

GPSS/H Model Size:

Control Statements 17

Blocks 80

Simulation begins.

Relative Clock: 25837.0992 Absolute Clock: 25837.0992

| Block Current Total |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| KILL 63 11          | 855 21              | 68 31               | 176 41              | 854                 |                     |
| 2 57 12             | 855 22              | 68 32               | 176 42              | 854                 |                     |
| 3 57 13             | 18 23               | 50 33               | 176 ARM2            | 50                  |                     |
| TONE 54 910 14      | 18 24               | 45 34               | 131 44              | 50                  |                     |

5	856	TTWO	68 25	45	ARM1	855 45	50
6	856	16	68 TTHR	176 36	855 46	50	
7	856	17	68 27	176 37	855 47	50	
8	1	856 18	68 28	176 38	1	855 48	50
9		855 19	68 29	176 39		854 49	50
10		855 20	68 30	176 40		854 50	50

	Block	Current	Total	Block	Current	Total	Block	Current	Total
ARM3		131	KMMG		599 71		300		
52		131 62			599 72		300		
53		131 63			599 73		300		
54		131 64			599 74		300		
55		131 65			299 75		300		
56		131 66			63 76		300		
57		131 67			63 77		300		
58		131	KMMSK		299 78		300		
KMML		599	CVK		300 79		299		
60		599 70			300 TOEND		1		

--Avg-Util-During--

Facility	Total	Avail	Unavl	Entries	Average	Current	Percent	Seizing	Preempting	
	Time	Time	Time		Time/Xact	Status	Avail	Xact	Xact	
T1	0.993			856	29.975	AVAIL		13		
T2	0.088			68	33.333	AVAIL				
T3	0.235			176	34.483	AVAIL				
ARM1	0.703			855	21.252	AVAIL		5		
ARM2	0.043			50	22.151	AVAIL				
ARM3	0.110			131	21.607	AVAIL				
CVK	0.469			300	40.398	AVAIL				
Queue	Maximum	Average		Total	Zero	Percent	Average	\$Average	Qtable	Current
	Contents	Contents	Entries	Entries	Zeros	Time/Unit	Time/Unit	Number	Contents	
QTONE	56	47.111		910	3	0.3	1337.602	1342.026		54
QTWO	2	0.021		68	42	61.8	7.877	20.602		0
QTTHR	16	1.728		176	8	4.5	253.681	265.761		0

QARM1	1	0.016	855	732	85.6	0.497	3.452	0
QARM2	1	0.000	50	50	100.0	0.000	0.000	0
QARM3	1	0.001	131	120	91.6	0.178	2.117	0
QKMM	2	0.001	599	579	96.7	0.037	1.111	0
QCVK	4	0.200	300	164	54.7	17.202	37.945	0

User Chain Entries Average Average Current Maximum

Time/Xact Contents Contents Contents

KMMBUNDL 20 1.111 0.001 0 2

Non-zero Fullword Savevalues: (NAME : VALUE)

GEMEIN: 300, FIRTOTAL: 855, SECTOTAL: 68, THRTOTAL: 176, FIRFLICK: 237

Random Antithetic Initial Current Sample Chi-Square

Stream Variates Position Position Count Uniformity

1 OFF 100000 103575 3575 0.86

2 OFF 200000 200090 90 0.46

Status of Common Storage

25104 bytes available

7616 in use

7776 used (max)

Simulation complete. Absolute Clock: 25837.0992

Total Block Executions: 26092

Blocks / second: 4132208

Microseconds / Block: 0.24

Elapsed Time Used (Sec)

Pass1: 0.00

Sym/Xref 0.00

Pass2: 0.00

Load/Ctrl: 0.00

Execution: 0.01

Output: 0.00

-----  
Total: 0.01