



**Некоммерческое  
акционерное  
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИКИ И  
СВЯЗИ ИМЕНИ  
ГУМАРБЕКА  
ДАУКЕЕВА**

Кафедра  
телекоммуникаций и  
инновационных технологий

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности 5В071900 – «Радиотехника, электроника  
и телекоммуникации»

Алматы 2022

СОСТАВИТЕЛИ: Туманбаева К.Х., Лещинская Э.М. Компьютерное моделирование систем телекоммуникаций. Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071900 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации». – Алматы: АУЭС, 2022. – 56 с.

Методические указания содержат задания и рекомендации для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Компьютерное моделирование систем телекоммуникаций». Выполнение работ позволит овладеть методами имитационного моделирования для решения задач анализа и синтеза в области телекоммуникаций, приобрести навыки работы со специализированной системой имитационного моделирования GPSS World.

Ил. – 23, табл. – 23, библиогр. – 10 назв.

Рецензент: ст. преподаватель каф. «АУ»

Л.Н. Рудакова

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский институт энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» на 2022 г.

© НАО «Алматинский институт энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», 2022 г.

## **Введение**

Целью лабораторных работ является ознакомление студентов с основными этапами построения моделей, вопросами имитационного моделирования, получение навыков исследования систем телекоммуникаций с помощью одного из языков моделирования — GPSS World.

При имитационном моделировании на компьютере имитируется работа проектируемой системы. Математическая модель при этом реализуется в виде программы для компьютера. В результате экспериментов на компьютере собирается статистика, обрабатывается и выдается необходимая информация.

Задачей лабораторных работ являются овладение студентами методов имитационного моделирования систем телекоммуникаций, приобретение навыков работы со специализированными системами имитационного моделирования, такими как GPSS World.

Учебным планом для данной дисциплины отводится 3 кредита.

# **1 Лабораторная работа № 1. Формирование последовательности случайных дискретных чисел по заданному закону распределения**

**Цель работы:** разработка программ на алгоритмическом языке (Паскаль), формирующих последовательность случайных дискретных чисел по заданному закону распределения.

## **1.1 Подготовка к работе**

1.1.1 Изучить и освоить теоретический материал по моделированию последовательности случайных дискретных чисел по заданному закону распределения.

1.1.2 Изучить операторы и команды, необходимые для имитационного моделирования на алгоритмическом языке Паскаль.

## **1.2 Задание к работе**

1.2.1 Разработать программу на алгоритмическом языке Паскаль, формирующую  $N$  последовательность чисел, распределенных по равномерному закону в промежутке  $(a, b)$ .

1.2.2 Разработать программу на алгоритмическом языке Паскаль, формирующую последовательность  $N$  чисел, распределенных по показательному закону с интенсивностью  $\lambda$ .

1.2.3 Разработать программу на алгоритмическом языке Паскаль, формирующую последовательность  $K$  чисел, распределенных по нормальному закону с математическим ожиданием  $M$  и среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ .

1.2.4 Подготовить отчет о выполненной работе, где представить свои программы на языке Паскаль, результаты моделирования и анализ полученных данных.

## **1.3 Варианты заданий**

1.3.1 Варианты и данные к первому заданию

Т а б л и ц а 1.1

Номер варианта	$N$	$a$	$b$
1	10	0	12
2	9	2	15
3	3	1	16
4	5	3	18
5	8	7	12

6	7	5	10
7	6	3	16
8	9	0	10
9	3	2	5
10	7	1	13
11	11	2	14
12	6	7	10
13	5	1	8
14	3	2	9
15	4	1	7

### 1.3.2 Варианты и данные ко второму заданию

Т а б л и ц а 1.2

Номер варианта	N	$\lambda$
1	10	1,1
2	9	1,2
3	11	1,3
4	5	1,4
5	8	1,5
6	7	1,6
7	6	1,7
8	9	1,8
9	8	1,9
10	7	2,0
11	11	2,1
12	6	2,2
13	7	2,3
14	8	2,4
15	9	2,5

### 1.3.3 Варианты и данные к третьему заданию

Т а б л и ц а 1.3

Номер варианта	K	M	$\sigma$
1	7	10	1,2
2	8	9	1,3
3	9	8	1,5
4	10	7	2,2
5	11	11	3,3
6	10	12	2,6

7	9	10	2,1
8	7	9	1,8
9	6	8	1,7
10	5	7	1,6
11	10	6	1,5
12	9	7	1,4
13	5	8	2,0
14	6	9	1,9
15	7	10	2,5

## 1.4 Контрольные вопросы

1. Какие действия нужно выполнить, чтобы получить последовательность случайных чисел, подчиняющихся заданному закону распределения?
2. С помощью какой стандартной функции алгоритмического языка Паскаль можно получить последовательность случайных чисел, распределенных по равномерному закону в промежутке (0, 1)?
3. Как отобразить на графике кривые, соответствующие равномерному, нормальному и экспоненциальному законам распределения случайных величин?
4. Приведите блок-схему программы получения последовательности случайных чисел, распределенных по нормальному закону распределения.
5. Как вывести на печать полученные случайные числа с заданной точностью, например, 2 знака после запятой?

## 2 Лабораторная работа № 2. Работа с интерфейсом системы GPSS World

**Цель работы:** изучение возможностей главного меню системы имитационного моделирования GPSS World, приобретение навыков работы с системой в интерактивном режиме.

### 2.1 Подготовка к работе

2.1.1 Изучить и освоить понятия имитационного моделирования, систем массового обслуживания (материал для подготовки к лабораторной работе).

2.1.2 Изучить пункты главного меню системы GPSS World.

### 2.2 Задание к работе

2.2.3 Разработать модель одноканальной СМО на GPSS World, в которой промежутки времени между поступлениями транзактов равномерно

распределены в промежутке ( $A \pm B$ ), время обслуживания транзакта равномерно распределено в промежутке ( $C \pm D$ ). Число транзактов в модели – N. Назовем эту модель Модель 1.

2.2.4 Разработать модель одноканальной СМО на GPSS World, в которой промежутки времени между поступлениями транзактов равномерно распределены в промежутке ( $A \pm B$ ), время обслуживания транзакта равномерно распределено в промежутке ( $C \pm D$ ). Время моделирования равно числу часов, равных вашему варианту. Назовем эту модель как Модель 2.

## 2.3 Порядок работы

2.3.1 Запустить GPSS World.

2.3.2 Ознакомиться с пунктами главного меню. Изучить команды ниспадающих меню, изучить их возможности.

2.3.3 Ввести разработанные модели в систему GPSS World, запустить процесс моделирования и получить результаты. Параметры моделей взять соответственно варианту по таблице 2.1.

2.3.4 Заполнить таблицу 2.2 на основании полученных результатов моделирования.

2.3.5 Подготовить отчет о выполненной лабораторной работе, где представить 2 модели, результаты моделирования и анализ полученных данных.

## 2.4 Варианты заданий

Т а б л и ц а 2.1

Номер варианта	N	A (мин.)	B (мин.)	C (мин.)	D (мин.)
1	25	20	2	15	3
2	20	21	3	16	5
3	21	22	5	17	6
4	22	23	6	18	4
5	23	24	7	19	3
6	26	25	8	20	6
7	27	26	9	21	7
8	31	27	10	22	8
9	35	28	11	23	9
10	39	29	12	24	2
11	42	30	7	25	3
12	43	31	8	26	4
13	44	32	9	27	5
14	45	33	10	28	6
15	51	34	11	29	7

Т а б л и ц а 2.2 – Сравнительный анализ моделей

Показатели	Модель 1	Модель 2
1. Среднее время занятия устройства		
2. Коэффициент использования устройства		
3. Среднее время пребывания в очереди		
4. Средняя длина очереди		
5. Продолжительность моделирования		

## 2.5 Методические указания к выполнению лабораторной работы

Чтобы запустить программу, дважды щелкните мышью по файлу GPSSW.exe в каталоге, в котором была установлена система. Появится главное окно системы GPSS World.

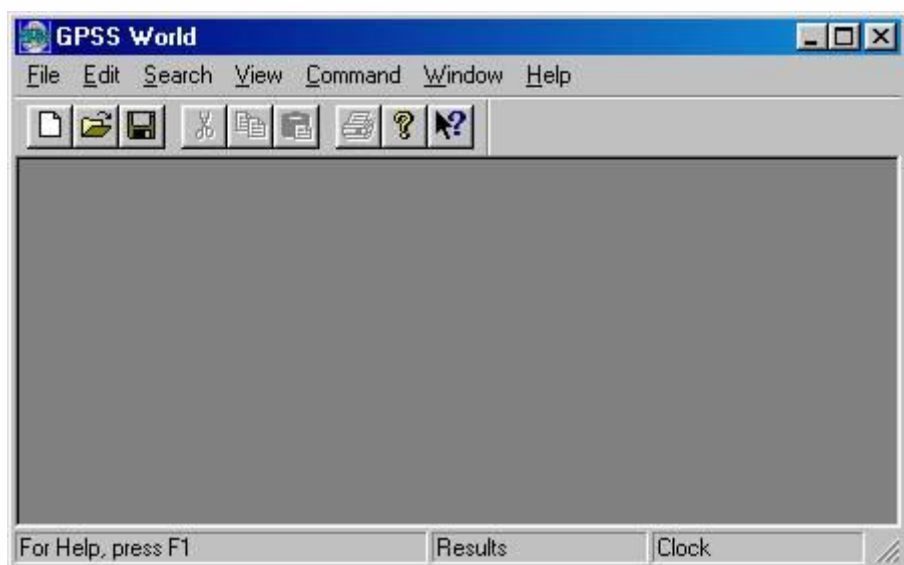


Рисунок 2.1 – Главное окно системы GPSS World

В первой строке (строке заголовка) главного окна указано название окна – GPSS World. Во второй строке располагаются пункты главного меню, в третьей – стандартная панель инструментов. Нижняя строка главного окна – строка состояния системы, в которой дается краткое описание выделенной команды.



Главное меню обеспечивает доступ ко всем средствам системы GPSS World. По своей сути главное меню является основным управляющим центром этой системы.

Рассмотрим пункты главного меню.

Меню File

Пункт File служит для работы с файлами документов. Файлы имитационных моделей в системе GPSS World записываются в окне Model и сохраняются с расширением .gps, текстовые файлы записываются в окне Text File и сохраняются с расширением .txt. Они имеют текстовый формат, поэтому их легко прочитать и модифицировать при помощи текстового редактора.

Файлы могут содержать и результаты проведенного моделирования. Эти файлы создаются после сохранения содержимого окна REPORT (отчет). При этом файл будет иметь расширение .gpr. Кроме того, можно сохранить сообщения, появляющиеся в процессе моделирования систем. Эти сообщения, выводимые в окне JOURNAL, можно сохранить в файле с расширением .sim.

Выпадающее меню пункта File содержит следующий набор пунктов:

New...

Open...

Close

Save

Save As...

Print...

Internet

Recent File

Exit

При выборе пункта New появляется диалоговое окно Новый документ. С помощью пункта Model можно создать новый файл для моделирования и текстовый файл с помощью пункта Text File. После выбора типа файла появится соответствующее окно: для ввода моделируемой системы – Untitled Model 1 (Без названия модель 1) – или для создания текстового файла – Untitled Text File 1 (Без названия текстовый файл 1).

Меню Edit.

Выбор пункта Edit вызывает ниспадающее меню редактирования. Кроме известных пунктов Undo (отменить), Cut (вырезать), Copy (копировать), Paste (вставить), оно содержит следующие:

Expression Window... (окно выражения) вызывает диалоговое окно Edit Expression Window;

Plot Window... (окно графика) вызывает диалоговое окно Edit Plot Window;

Insert GPSS Blocks... (вставить блоки GPSS) вызывает диалоговое окно, в котором можно щелчком мыши выбрать нужный блок GPSS (рисунок 2.2).

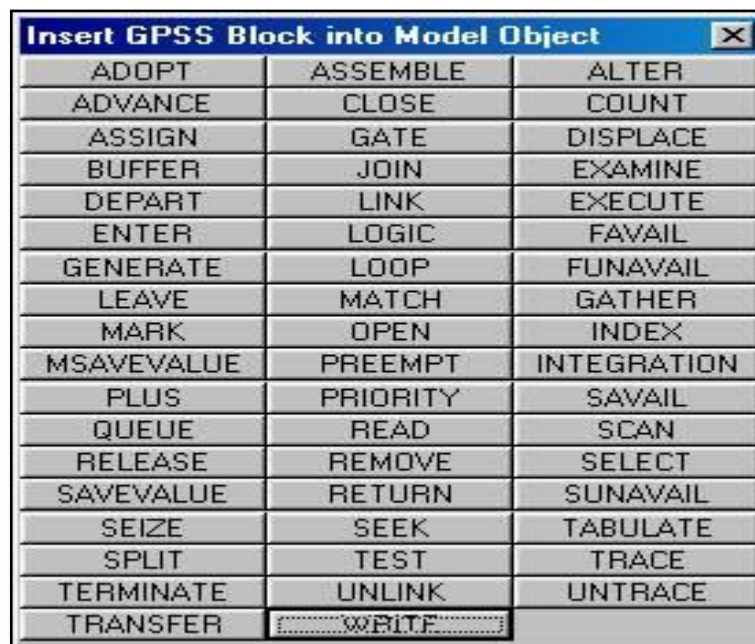


Рисунок 2.2 – Диалоговое окно Insert GPSS Blocks

Как видим из рисунка 2, в диалоговое окно входят 53 блока. Если щелкнуть по любому из них, то появится соответствующее диалоговое окно. Допустим, вы щелкнули по блоку GENERATE, на экране появится шаблон блока для ввода необходимой информации (рисунок 2.3).

**Enter Block Information**

**GENERATE**

GENERATE - Create >N for future entry.

A:  Intergeneration time.

B:  Halfrange or Function Modifier.

C:  Start delay time.

D:  Creation limit.

E:  Priority.

F:

G:

H:

Label:

Comment:

OK Cancel Help

Рисунок 2.3 – Шаблон блока GENERATE

Insert Experiment (Вставить эксперимент) вызывает всплывающее меню для выбора соответствующего эксперимента.

Settings ... (Установки) вызывает диалоговое окно, в котором можно определить те или иные установки системы.

#### Меню Search

Выбор пункта Search (поиск) позволяет осуществить такие действия, как нахождение и исправление ошибки, переход к нужной строке, установка необходимых закладок, установление и удаление меток в тексте программы, выделение текста от курсора до установленной метки. Все указанные действия можно выполнить с помощью команд ниспадающего меню, которое появляется после выбора данного пункта.

#### Меню View

Выбор пункта View главного меню позволяет открывать различные окна, панели или меню:

- 1) Notices (Сообщения) вызывает окно Notices.
- 2) Toolbar (Панель инструментов).
- 3) Entity Details (Детальное представление элемента).
- 4) Simulation Clock (Часы моделирования).

#### Меню Command.

Выбор пункта Command главного меню вызывает ниспадающее меню следующих команд:

- 1) Create Simulation (Создать выполняемую модель) вызывает транслятор и выполняет трансляцию исходной модели с фиксацией даты и времени начала и окончания трансляции.
- 2) Retranslate (Перетранслировать) обеспечивает перетранслирование модели.
- 3) Repeat Last Command (Повторить последнюю команду).
- 4) CONDUCT (Управление) дает возможность проведения эксперимента.
- 5) START (Пуск) обеспечивает запуск оттранслированной программы.
- 6) STEP1 (Шаг 1) обеспечивает пошаговое выполнение программы.
- 7) HALT (Остановить) прерывает процесс моделирования.
- 8) CONTINUE (Продолжить) обеспечивает продолжение моделирования.
- 9) CLEAR (Очистить) возвращает моделирование в первоначальное состояние.
- 10) RESET (Сброс) осуществляет сброс статистики в начальное состояние.
- 11) SHOW ... (Показать) показывает искомые параметры.
- 12) Custom ... (Пользователь) обеспечивает возможность ввода команд управления пользователем.

#### Меню Window

Система GPSS World позволяет эффективно работать с несколькими окнами. Под каждую модель отводится отдельное окно. Одно из них является активным, то, с которым пользователь работает. Система также позволяет работать с несколькими окнами одновременно. Выбор пункта Window

главного меню позволяет управлять работой с несколькими окнами. Наряду с известными командами (Cascade, Tile), позволяющими расположить окна на рабочем столе в нужном виде, меню предлагает следующие команды:

1) Simulation Window (Окно моделирования) вызывает всплывающее меню, которое содержит команды для вызова нужных окон.

2) Simulation Snapshot (Снимок моделирования) вызывает всплывающее меню со списком окон различных снимков моделирования и окон, открытых в данный момент.

Меню Help

Выбор пункта Help (Справка) главного меню открывает меню:

1) Help Topics (Вызов справки) вызывает справочную систему.

2) About GPSS World ... (О системе GPSS World) обеспечивает дополнительной информацией по системе.

## **2.6 Контрольные вопросы**

1. В каком блоке генерируются транзакты?
2. Какая случайная величина распределена по равномерному закону в блоке GENERATE?
3. Какие показатели работы устройства можно увидеть в отчете REPORT?
4. Какие данные об очереди можно увидеть в отчете REPORT?
5. Как можно организовать время работы модели?

## **3 Лабораторная работа № 3. Моделирование времени обслуживания в одноканальной СМО**

Цель работы: изучить и освоить способы задания вероятностных законов распределения промежутков между моментами поступления транзактов и времени обслуживания.

### **3.1 Подготовка к работе**

3.1.1 Изучить и освоить теоретический материал по использованию библиотечных процедур для задания различных законов распределения.

3.1.2 Изучить блоки и команды, представленные в базовой модели.

3.1.3 Изучить способы представления различных законов распределения в блоках GENERATE и ADVANCE.

### **3.2 Задание к работе**

Разработать модель трех систем массового обслуживания (M/D/1, M/M/1 и M/G/1) с параметрами, соответствующими вашему варианту. Провести процесс моделирования, получить результаты, заполнить таблицу 1.1 данными из полученного отчета, получить результаты в виде гистограмм.

### 3.3 Порядок выполнения работы

3.3.1 Получить задание и вариант работы у преподавателя.

3.3.2 Осуществить ввод операторов базовой модели, отладить и запустить программу, результаты сравнить с таблицей 3.2.

3.3.3 Ввести изменения в базовую модель в соответствии со своим вариантом.

3.3.4 Прodelать по шагам для своей модели пункт 3.3.1.

3.3.5 Получить статистику формирования очередей для каждого типа обслуживания (постоянное, экспоненциальное и эрланговское), заполнить таблицу 3.1 полученными данными.

3.3.6 Получить результат моделирования в виде отчета, гистограмм и оперативного экрана.

3.3.7 Подготовить отчет о выполненной работе, где представить свою модель, результаты моделирования и анализ полученных данных.

### 3.4 Варианты лабораторной работы

Т а б л и ц а 3.1

№ варианта	Среднее время обслуживания (сек.)		
	Время обслуживания постоянно	Время распределено по экспоненц. закону	Время распределено по эрланговск. закону
1	2,1	2,5	1,1
2	2,2	2,6	1,2
3	2,3	2,7	1,3
4	2,4	2,8	1,4
5	2,5	2,9	1,5
6	2,6	3,1	1,6
7	2,7	3,2	1,7
8	2,8	3,3	1,8
9	2,9	3,4	1,9
10	3,1	3,5	2,0
11	3,2	3,6	2,1
12	3,3	3,7	2,2
13	3,4	3,8	2,3
14	3,5	3,9	2,4
15	3,6	4,0	1,0

### 3.5 Методические указания к выполнению лабораторной работы

Введите листинг базовой модели в систему GPSS World  
Transit      TABLE M1,250,250,20

```

Number      TABLE Q$Expon,0,1,20
Qconstant   QTABLE Constant,200,200,20
Qexpon       QTABLE Expon,200,200,20
Qerlang      QTABLE Erlang,200,200,20

```

\*\*\*\*\*

```

GENERATE      (Exponential (1,0,500) )
QUEUE         Constant
SEIZE         Facility1
ADVANCE       300
RELEASE       Facility1
DEPART        Constant
TERMINATE

```

\*\*\*\*\*

```

GENERATE      (Exponential(1,0,500) )
QUEUE         Expon
SEIZE         Facility2
ADVANCE       (Exponential (1,0,300))
RELEASE       Facility2
DEPART        Expon
TABULATE      Transit
TERMINATE

```

\*\*\*\*\*

```

GENERATE      (Exponential(1,0,500))
QUEUE         Erlang
SEIZE         Facility3
ADVANCE       (Exponential (1,0,150))
ADVANCE       (Exponential(1,0,150))
RELEASE       Facility3
DEPART        Erlang
TERMINATE

```

\*\*\*\*\*

```

GENERATE      (Exponential(1,0,6000))
TABULATE      Number
TERMINATE     1

```

Программа моделирует один служебный канал, по которому поступают запросы, время поступление которых изменяется по экспоненциальному закону со средним значением 5 секунд (500 тактов). Среднее время обслуживания составляет 3 секунды (300 тактов). Среднее значение коэффициента использования сервера составляет 60%.

Необходимо исследовать 3 режима времени обслуживания:

- 1) Постоянное время обслуживания.
- 2) Экспоненциально распределенное время обслуживания.
- 3) Время обслуживания, распределенное по эрланговскому закону ( $k=2$ ).

Выполните следующие действия:

- 1) Запустите процесс моделирования на 500 минут.
- 2) Получите статистику формирования очередей для каждого типа обслуживания.

Модель состоит из трех сегментов, в которых транзакты имеют соответственно постоянное время обслуживания, время обслуживания, распределенное по экспоненциальному и по эрланговскому законам ( $K=2$ ).

В последнем дополнительном сегменте транзакты распределены по экспоненциальному закону. Они определяют время моделирования и уменьшают счетчик завершения в среднем один раз каждый модельный час.

После того как базовая модель будет введена, необходимо создать процесс моделирования. Выберите Command / Create Simulation, затем выберите Command / START. В диалоговом окне замените 1 на 500.

После завершения процесса моделирования будет выведен отчет. Для того чтобы сохранить полученный отчет в виде файла, скопируйте его в текстовый редактор (он вам будет нужен при составлении отчета по лабораторной работе).

Из полученного отчета выберите данные для заполнения таблицы 3.1.

В таблице представлены данные, которые получены при запуске базовой модели. После того как в базовую модель будут внесены изменения в соответствии с вашим вариантом, заполните таблицу 3.2 вашими результатами.

Т а б л и ц а 3.2

	Постоянное время обслуживания	Экспоненциаль- ное время обслуживания	Эрланговское время обслуживания
Среднее время пребывания в очереди	526,7	757,5	649,4
Средняя длина очереди	1,05	1,50	1,29
Среднее время ожидания (среднее время пребывания в очереди за вычетом среднего времени обслуживания)	226,7	453,5	349,7
Стандартное отклонение времени пребывания в очереди	287	739,9	595

В отчете по лабораторной работе нужно представить гистограммы Transit, Number, Qconstant, Qexpon, Qerlang.

Для того чтобы получить названные гистограммы, необходимо выполнить Window / Simulation Window / Table Window и выбрать нужную гистограмму, например, QEXPON (рисунок 3.1).

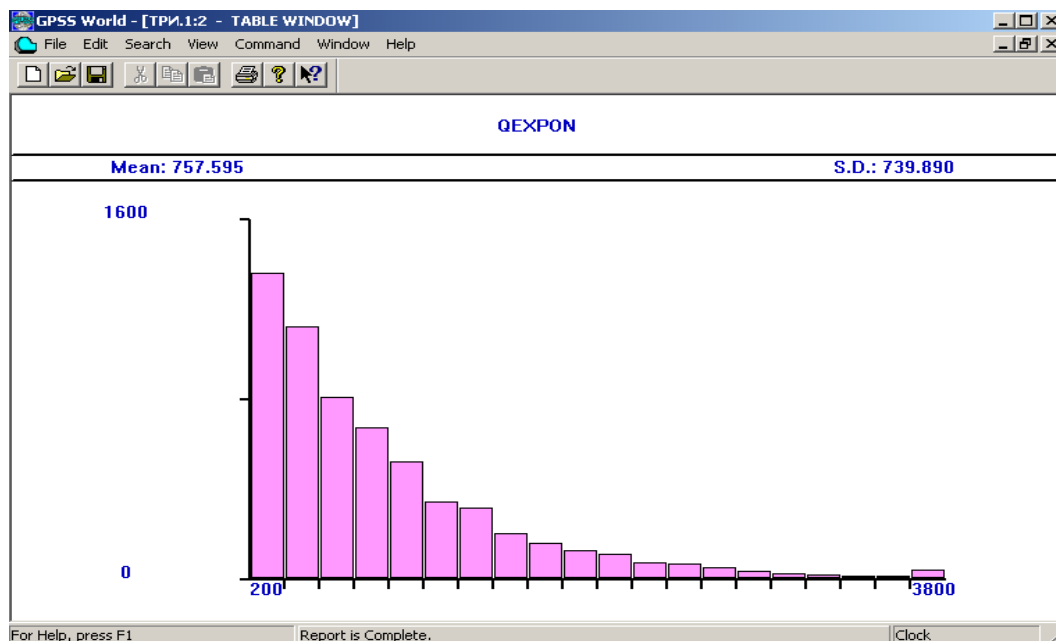


Рисунок 3.1 – Вид окна QEXPON

### 3.6 Контрольные вопросы

1. С какой целью разработана система символических обозначений СМО Кендалла? В чем предназначение каждого из шести разрядов символики?
2. Чем отличаются системы массового обслуживания вида: М/М/1, М/Д/1, М/Г/1?
3. Какая из трех исследуемых вами СМО отличается лучшими показателями качества работы?
4. Как получить гистограмму распределения случайной величины «Время пребывания в очереди»?
5. С использованием каких системных числовых атрибутов (СЧА) могут быть получены гистограммы распределения случайных величин «Время пребывания в системе», «Текущая длина очереди»?

## 4 Лабораторная работа № 4. Исследование на имитационной модели простой телефонной системы

Цель работы: анализ модели работы АТС и приобретение навыков использования динамических окон системы GPSS World

### 4.1 Подготовка к работе

4.1.1 Изучить пункты главного меню системы GPSS World, необходимые в работе: меню: Window/Simulation Window.

4.1.2 Изучить блоки и команды, необходимые для моделирования многоканального устройства.



## 4.2 Задание к работе

Разработать модель простой АТС, соответствующую вашему варианту. Провести процесс моделирования, получить результаты, заполнить таблицу 4.1 ( $N_1$  и  $N_2$  даны для каждого варианта), определить оптимальное число линий.

Т а б л и ц а 4.1 – Результаты моделирования

Число внешних линий	Число звонков	Текущее время	Коэффициент использования	Средняя длительность звонка
2	$N_1$			
2	$N_2$			
3	$N_1$			
3	$N_2$			
4	$N_1$			
4	$N_2$			

## 4.3 Порядок выполнения работы

4.3.1 Получить задание и вариант работы у преподавателя.

4.3.2 Разработать модель АТС.

4.3.3 Осуществить ввод операторов модели, отладить программу.

4.3.4 Запустить процесс моделирования при количестве звонков  $N_1$  и  $N_2$  и числе линий 2, 3 и 4.

4.3.5 Прodelать по шагам п. 4.5.2 для своей модели.

4.3.6 Получить статистику формирования загрузки линий связи, статистику длительности завершенных звонков.

4.3.7 Получить результаты моделирования в виде отчета, гистограмм и оперативного экрана.

4.3.8 Подготовить отчет по выполненной работе, где представить свою модель, результаты моделирования и сделать выводы.

## 4.4 Варианты лабораторной работы

Т а б л и ц а 4.2 - Варианты заданий

№ варианта	$N_1$	$N_2$	Интервалы между поступлениями звонков (сек.)	Длительность разговора (мин.)	Интервал для повторного звонка (мин.)
1	203	1000	$100 \pm 40$	$2 \pm 1$	$3 \pm 1$
2	205	1005	$100 \pm 45$	$2,5 \pm 1$	$3 \pm 2$
3	210	1010	$100 \pm 50$	$3 \pm 1$	$4 \pm 1$

4	215	1020	$100 \pm 55$	$2 \pm 1,5$	$4 \pm 2$
5	220	1030	$100 \pm 60$	$2,5 \pm 1,5$	$4 \pm 3$
6	225	1040	$110 \pm 40$	$3 \pm 1,5$	$5 \pm 1$
7	230	1050	$110 \pm 45$	$4 \pm 1$	$5 \pm 2$
8	235	1060	$110 \pm 50$	$4,5 \pm 1$	$5 \pm 3$
9	240	1070	$110 \pm 55$	$3 \pm 2$	$5 \pm 4$
10	245	1080	$110 \pm 60$	$4 \pm 2$	$5,5 \pm 1$
11	250	1090	$120 \pm 30$	$4,5 \pm 2$	$5,5 \pm 2$
12	255	1100	$120 \pm 35$	$4 \pm 1,5$	$5,5 \pm 3$
13	260	1110	$120 \pm 40$	$4,5 \pm 1,5$	$6 \pm 1$
14	265	1120	$120 \pm 45$	$5 \pm 1,5$	$6 \pm 2$
15	270	1130	$120 \pm 50$	$5 \pm 2$	$6 \pm 3$

#### 4.5 Методические указания к выполнению лабораторной работы

##### Постановка задачи

Телефонная система имеет две внешние линии. Внешние звонки поступают каждые  $100 \pm 60$  секунд. Если линия занята, то звонок повторяется через  $5 \pm 1$  минуту до тех пор, пока не будет обслужен. Звонок длится  $3 \pm 1$  минуту. Нужно занести в таблицу распределение времени, необходимого для выполнения успешных звонков. Сколько времени потребуется для завершения 200 звонков?

Листинг базовой программы представлен на рисунке 4.1. Время дано в минутах.

Необходимо создать процесс моделирования. Выберите Command / Create Simulation.

После этого выберите Command / START. В диалоговом окне замените 1 на 200 и нажмите ОК.

Листинг базовой модели:

Sets	STORAGE 2	
Transit	TABLE M1,,5,1,20	; Транзитное время.
	GENERATE 1.667,1	; Входящие звонки.
Again	GATE SNF Sets,Occupied	; Попытка занять линию.
	ENTER Sets	; Установление соединения.
	ADVANCE 3,1	; Разговор, длящийся $3 \pm 1$ минуту.
	LEAVE Sets	; Освобождение линии.
	TABULATE Transit	; Занесение в таблицу тр. врем.
	TERMINATE 1	; Удаление транзакта.
Occupied	ADVANCE 5,1	; Ожидание в течение $5 \pm 1$ мин.
	TRANSFER ,Again	; Повторная попытка

Процесс моделирования завершится, когда 200 транзактов войдут в блок TERMINATE. Это соответствует 200 завершенным звонкам.

После завершения процесса моделирования GPSS World выводит отчет в файл отчета, заданного по умолчанию.

Этот отчет будет автоматически выведен в окно. Если вы закроете окно, повторно его можно будет открыть с помощью команды главного меню File / Open. Затем в выпадающем списке «Files of type» («Тип файла») выбрать Report (Отчет).

Из значения End Time в стандартном отчете мы видим, что к моменту, когда 200 звонков были завершены, прошло 359.16 минуты. Повторное моделирование благодаря использованию случайных чисел даст немного другие значения.

Таблица с именем Transit дает более детальную информацию о том, сколько времени потребовалось звонящим для совершения звонков. Хотя большинство звонящих уложились меньше чем в 9.5 минут, большое количество звонков заняло больше времени. Возможно, именно в этом будет источник неудовлетворенности потребителя.

Теперь исследуем конечное состояние процесса моделирования, сгенерировавшего стандартный отчет. Если процесс моделирования не был завершён, повторно оттранслируйте модель и запустите ее снова. Если у вас открыто окно «Report» («Отчет»), закройте его.

Воспользуемся окном «Expression» («Выражения») для просмотра некоторых стандартных числовых атрибутов. Во-первых, подтвердим время окончания процесса моделирования. Выберите Window / Simulation Window / Expression Window.

Для ввода значения в пустое поле диалогового окна необходимо поместить указатель мыши в его начало и нажать один раз левую кнопку. Не используйте клавишу [Enter] для перехода от одного поля ввода к другому, так как в этом случае GPSS World решит, что все значения были введены. Для перемещения от поля к полю можно использовать клавишу [Tab]. Теперь в поле «Label» («Метка») диалогового окна наберите «Время», а в поле «Expression» («Выражение») – AC1.

Это позволит нам просмотреть текущее время. Нажмите «View» («Просмотр») и «Memorize» («Запомнить»).

Если выражение было сохранено, то можно закрыть это окно, позже открыть его снова и восстановить все значения. При сохранении процесса моделирования значения в окне «Expression» («Выражения») сохраняются вместе с ним в том случае, когда они были сохранены ранее. Мы собираемся закрыть это окно и открыть его позже, поэтому просьба сохранить это выражение и все последующие.

Теперь посмотрим на коэффициент использования телефонных линий (в долях от тысячи). В поле «Label» («Метка») замените текущее значение на коэффициент использования. Также замените текущее значение в поле «Expression» («Выражение») на SR\$Sets. Нажмите «View» («Просмотр») и «Memorize» («Запомнить»).

Наконец, добавим среднее время использования телефонной линии. В поле «Label» («Метка») замените текущее значение на «Сред. длит. звонка», а в поле «Expression» («Выражение») – на ST\$Sets. Нажмите «View» («Просмотр») и «Memorize» («Запомнить»). Нажмите ОК.

Коэффициент использования выражается в долях от тысячи. Линии используются на 84% от их пропускной способности. И хотя имеется некоторый запас пропускной способности, задержки в очереди могут стать недопустимыми.

Теперь закройте окно «Expression» («Выражения»).

Откроем некоторые графические окна. Выберите Window / Simulation Window / Storages Window.

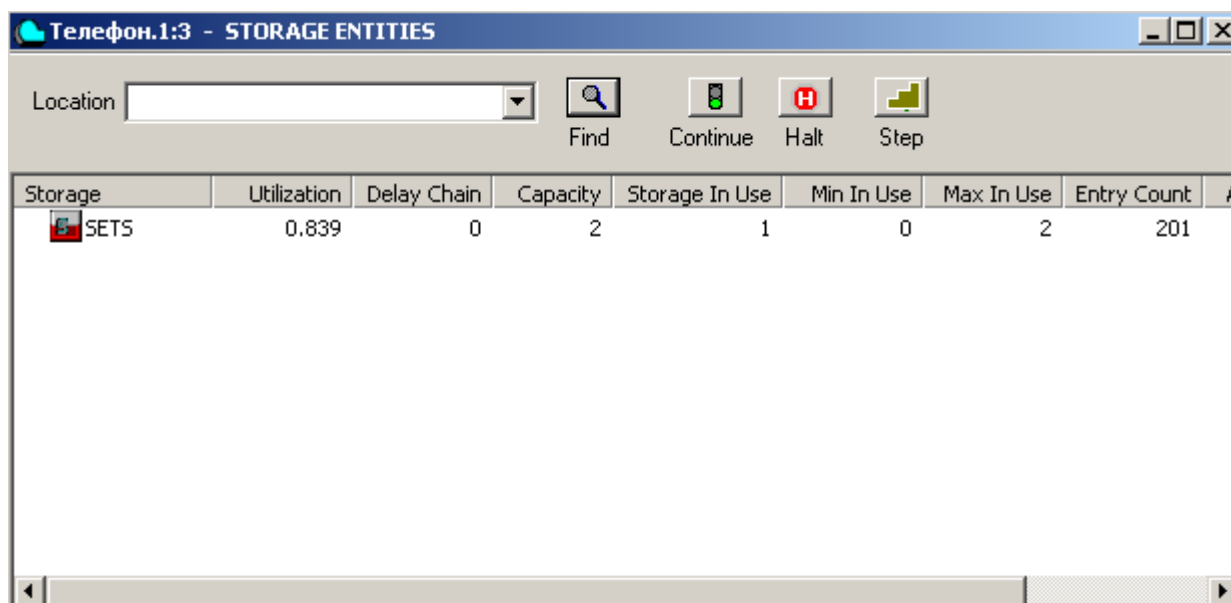


Рисунок 4.1 – Окно «Памяти»

Это подробный обзор окна «Storages» («Памяти»). Обратите внимание, что загрузка составила 84%. Из минимального и максимального значений использования памяти мы видим, что иногда в процессе моделирования были заняты 0, 1 или 2 линии. Используйте полосу прокрутки в нижней части экрана, чтобы перейти к значениям, о которых мы сейчас говорим. Окно «Storages» («Памяти») рассматривается в Главе 5 Руководства пользователя по GPSS World.

Если открыть окно «Table» («Таблицы»), то можно увидеть диаграмму длительностей завершенных звонков. Выберите Window / Simulation Window / Table Window (Окно / Окно процесса моделирования / Окно «Таблица»). Так как в этой модели есть только одна таблица, то в выпадающем списке вы сразу увидите TRANSIT. Нажмите ОК.

Удостоверьтесь, что размер вашего окна «Table» («Таблицы») достаточно велик, чтобы правильно отобразить таблицу. Здесь приводится та же информация, что и в стандартном отчете. Как показывает СЧА ST в окне «Expression» («Выражения»), среднее время разговора равно 3 минутам,

однако, как видно из окна «Table» («Таблицы»), среднее время, включая повторные звонки, составляет 14.27 минуты. Звонящие затрачивают слишком много времени на повторные звонки.

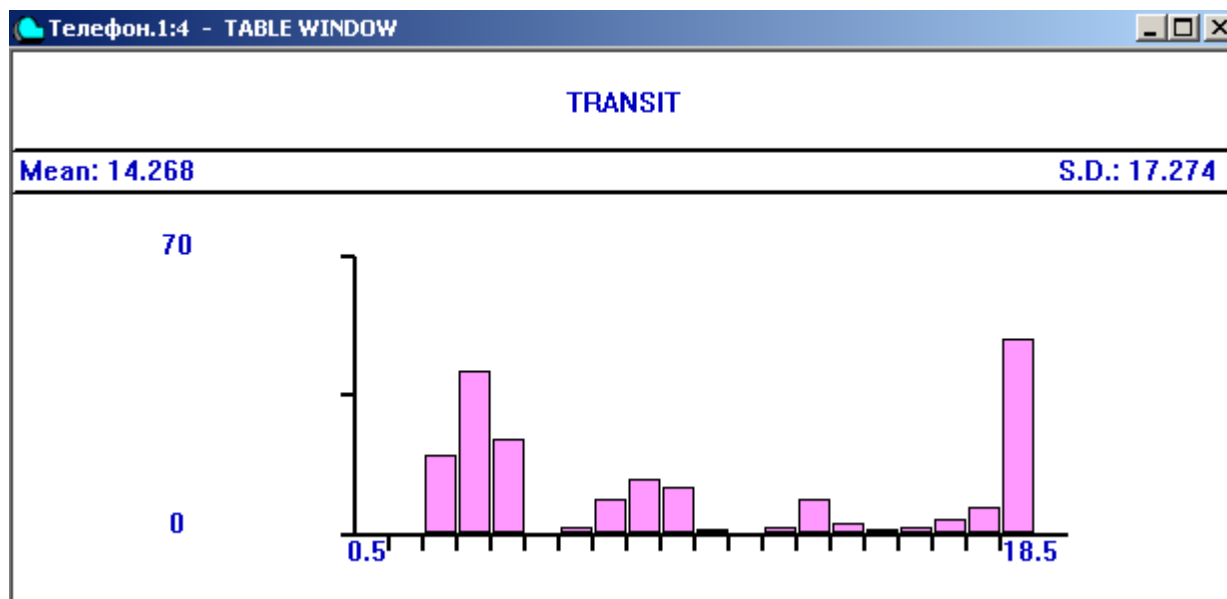


Рисунок 4.2 – Вид таблицы TRANSIT

Давайте посмотрим, где находятся транзакты. Выберите Window / Simulation Window / Blocks Window (Окно / Окно процесса моделирования / Окно «Блоки»). Это окно «Blocks» («Блоки»).

Обратите внимание, что 15 человек ждут, чтобы перезвонить. Посмотрим на историю входов в блоки в столбце «Entry Count» («Количество входов»).

Figure 4.3 shows the 'Block Entities' window. The window title is 'Телефон.1:5 - BLOCK ENTITIES'. It features a toolbar with buttons for 'Find', 'Continue', 'Halt', 'Step', 'Place', and 'Remove'. Below the toolbar is a table listing various block entities and their statistics.

Loc	Block Type	Current Count	Entry Count	Retry Chain	Line Number	Include-file
1 GEN	GENERATE	0	216	0	10	0
2 AGAIN	GATE	0	762	0	11	0
3 ENT	ENTER	0	201	0	12	0
4 ADV	ADVANCE	1	201	0	13	0
5 LEA	LEAVE	0	200	0	14	0
6 TAB	TABULATE	0	200	0	15	0
7 TER	TERMINATE	0	200	0	16	0
8 OCCUPIED	ADVANCE	15	561	0	17	0
9 TRA	TRANSFER	0	546	0	18	0

Рисунок 4.3 – Окно «Blocks» («Блоки»), показывающее блок TRANSFER

Обратите внимание на число транзактов, вошедших в блок ADVANCE. Все они ждали, чтобы перезвонить, т.е. 561. При этом было сделано только 200 звонков. Смотрите на окно «Blocks» («Блоки») и используйте функциональную клавишу [F5], позволяющую сделать один шаг в процессе моделирования. Нажмите ее 15 или 20 раз. Многие звонящие при повторном звонке снова обнаруживают, что все линии заняты и снова должны ждать, чтобы перезвонить.

Вернемся к просмотру процесса моделирования с помощью графических окон. Закройте все открытые окна за исключением окон «Blocks» («Блоки»), «Journal» («Журнал») и «Model» («Модель»).

Повторно откроем окно «Expression» («Выражения») со значениями, которые мы сохранили ранее, и добавим номер звонка, который также является номером активного транзакта. Выберите Window / Simulation Window / Expression Window (Окно / Окно процесса моделирования / Окно «Выражения»). Замените текущее значение в поле «Label» («Метка») диалогового окна на «Номер звонка». А в поле «Expression» («Выражение») – на XN1. Нажмите «View» («Просмотр») и «Memorize» («Запомнить»).

Прежде чем открыть это окно, нам необходимо восстановить все сохраненные выражения, которые были введены, когда мы открывали окно в первый раз. Выберите каждое выражение и нажмите «View» («Просмотр»).

Наконец, когда все выражения будут восстановлены, нажмите ОК.

Теперь удалим транзакты и сбросим собранную статистику. Из главного меню выберите Command / CLEAR (Команда / CLEAR), затем выберите Command / Custom... (Команда / Ввести...) и наберите rmult 1.

Мы сбрасываем генератор случайных чисел номер 1, так как команда CLEAR этого не делает. Это необходимо, если вы хотите обеспечить исходную точку потока. Таким образом, даже если вы использовали другие команды, не перечисленные в пособии, то после использования команды CLEAR мы будем видеть в течение этого процесса моделирования одни и те же результаты. В окне «Blocks» («Блоки») наведите указатель мыши на последний блок в модели (блок TRANSFER). Щелкните на значке блока TRANSFER и на значке «Place» («Поместить»).

Далее расположите окна «Blocks» («Блоки»), «Journal» («Журнал») и «Expression» («Выражения») так, чтобы они все были видны. Выберите Command / START (Команда / START). В диалоговом окне замените 1 на 1000, NP и нажмите ОК.

Процесс моделирования останавливается при первой попытке транзакта войти в блок TRANSFER. Это указывает на то, что данный звонящий не может дозвониться. Продолжим выполнение процесса моделирования. Нажмите [F2]. Выполните данную операцию еще 4 раза, каждый раз процесс моделирования будет приостанавливаться из-за условия остановки.

Процесс моделирования будет продолжать останавливаться каждый раз, когда звонящий должен ждать. Вы увидите трассировочные сообщения в окне «Journal» («Журнал»), которые показывают номера приостановленных

транзактов. Так как в этой модели имеется только один блок GENERATE, то по номеру транзакта вы можете видеть, как часто звонящие должны ждать и имеются ли звонящие, ждущие второй раз.

Теперь удалим условие остановки. В окне «Blocks» («Блоки») щелкните на значке блока TRANSFER и нажмите кнопку «Remove» («Удалить»). Затем закройте окна «Blocks» («Блоки») и «Expression» («Выражения»).

Теперь мы будем наблюдать за выполнением процесса моделирования с помощью окна «Storages» («Памяти») в режиме общего обзора. Из главного меню выберите Window / Simulation Window / Storages Window (Окно / Окно процесса моделирования / Окно «Памяти»), затем, чтобы отключить подробный обзор, выберите View / Entity Details (Вид / Подробности).

Теперь посмотрим, как строится диаграмма задержки звонков. Выберите Window / Simulation Window / Table Window (Окно / Окно процесса моделирования / Окно «Таблица»). В данном случае имеется только одна таблица, поэтому ее имя уже находится в выпадающем списке. Нажмите ОК.

Продолжим выполнение процесса моделирования. Нажмите [F2].

Таблица с именем Transit фактически является динамической диаграммой, которая может быть просмотрена в любое время. Она показывает, что большинство людей не обслуживается сразу же. Очевидно, что люди, обнаруживающие, что линии заняты, рады не будут. Когда закончите просмотр, закройте окна «Table» («Таблицы») и «Storages» («Памяти») и позвольте процессу моделирования завершиться.

Что, если мы увеличим количество линий? Давайте промоделируем четыре линии вместо двух.

Прежде чем переопределить объект, необходимо использовать команду CLEAR. Выберите Command/ CLEAR (Команда / CLEAR), затем выберите Command / Custom... (Команда / Ввести...). В диалоговом окне наберите Sets Storage 4 и нажмите [Enter], в следующей строке наберите rmult 1.

Нажмите ОК.

Таким способом переопределяется количество телефонных линий. Вы можете сделать это при любом открытом окне. Данное действие будет записано в окно «Journal» («Журнал») для последующего просмотра, если, конечно, вы оставили его открытым.

Давайте посмотрим, что произойдет. Выберите Command / START (Команда / START). В диалоговом окне замените 1 на 1000, NP и нажмите ОК.

Коэффициент использования телефонных линий стал намного меньше. Посмотрим диаграмму длительности звонков. Выберите Window / Simulation Window / Table Window (Окно / Окно процесса моделирования / Окно «Таблица»). Так как мы имеем только одну таблицу, то ее имя уже выбрано в выпадающем списке. Нажмите ОК.

В окне «Blocks» («Блоки») при подробном обзоре видно, что входов в блок TRANSFER не было, а это означает, что не было ни одного повторного звонка. Четыре линии – намного лучше, чем две.

Изменим число линий на 3 и сравним результаты. Выберите Command / CLEAR (Команда / CLEAR), затем выберите Command / Custom... (Команда / Ввести...). Далее в диалоговом окне наберите Sets Storage 3.

Таким образом, мы изменим количество телефонных линий на 3. Нажмите [Enter]. В следующей строке наберите rmult 1 и нажмите ОК.

Давайте посмотрим, что произойдет. Выберите Command / START (Команда / START). В диалоговом окне наберите 1000 и нажмите ОК.

Возможно, вы захотите открыть окно «Blocks» («Блоки»). Похоже, что три телефонные линии оказываются вполне эффективными. Быстрое изучение отчета показывает, что только 57 звонящих были вынуждены перезвонить.

Введите в базовую модель свои параметры, повторите все предложенные действия, скопируйте полученный отчет о моделировании в текстовый редактор, получите необходимые гистограммы, сделайте анализ результатам вашей работы, оформите отчет.

#### **4.7 Контрольные вопросы**

1. Какие объекты аппаратной категории GPSS используются при моделировании телефонной сети, содержащей «n» линий, одну линию?
2. Какие блоки необходимы при моделировании работы многоканального устройства?
3. В каком режиме работает блок TRANSFER в программе?
4. Сколько линий должна содержать исследуемая сеть, чтобы обеспечить требуемое качество обслуживания и быть экономически целесообразной?
5. Для чего предназначено окно «Expression» («Выражения»)?

#### **5 Лабораторная работа № 5. Исследование на имитационной модели частной телефонной станции**

Цель работы: анализ модели работы частной АТС и приобретение навыков использования динамических окон системы GPSS World для оптимизации функционирования системы для заданной нагрузки.

##### **5.1 Подготовка к работе**

5.1.1 Изучить пункты главного меню системы GPSS World, необходимые в работе: меню Window/Simulation, Window/Table/Storage/Expression/.

5.1.2 Изучить блоки и команды, необходимые в модели.

##### **5.2 Задание к работе**

Изучить базовую модель простой АТС, освоить работу с базовой моделью, используя динамические окна. Внести изменения в базовую модель



соответственно вашему варианту. Провести процесс моделирования, получить результаты и сделать анализ и выводы.

### 5.3 Порядок выполнения работы

5.3.1 Определить коэффициент использования оператора, сигнализаторов, внутренних и внешних линий, параллельных телефонов.

5.3.2 Определить количество внутренних и внешних звонков, обрабатываемых каждую минуту.

5.3.3 Определить, достаточно ли внутренних и внешних линий, сигнализаторов.

5.3.4 Получить результат моделирования в виде отчета, гистограмм и оперативного экрана.

5.3.5 Подготовить отчет о выполненной работе, где представить свою модель, результаты моделирования и сделать выводы.

### 5.4 Варианты заданий

Т а б л и ц а 5.1

№ варианта	Число параллельных телефонов	Число внутренних линий	Число внешних линий	Число сигнализаторов
1	100	20	31	5
2	105	21	30	6
3	115	22	29	7
4	120	23	28	8

Окончание таблицы 5.1.

5	125	24	27	9
6	130	25	26	4
7	135	26	25	5
8	140	27	24	6
9	145	28	23	7
10	150	29	22	8
11	155	30	21	9
12	160	31	20	5
13	165	32	25	6
14	170	33	26	7
15	175	34	27	8

### 5.5 Методические указания к выполнению лабораторной работы

На частном узле телефонной связи имеются 200 параллельных телефонов, 30 внутренних линий, 30 внешних линий, 8 сигнализаторов и 1

оператор. В среднем телефонные звонки длятся 150 секунд и распределены по нормальному закону со стандартным отклонением в 30 секунд. Время между поступлением внешних звонков обратно пропорционально количеству параллельных телефонов (2500 разделить на количество параллельных телефонов) и распределено по экспоненциальному закону. Время между поступлением внутренних звонков обратно пропорционально количеству свободных параллельных телефонов (1260 разделить на количество свободных параллельных телефонов плюс 1). Направление этих звонков может быть внутренним (66,6%) и внешним (33,3%). Для звонков, поступающих с внутренних телефонов, оператор не нужен. Для внутренних звонков требуется сигнализатор и внутренняя линия, для внешних звонков – внешняя линия.

При звонке 15% параллельных телефонов занято, 20% – не отвечают.

Время, требуемое для сигнализации, равно  $7 \pm 2$  секунд, для звонка через параллельный телефон –  $6 \pm 2$  секунд. Звонящий слушает сигнал «занято»  $4 + 1$  секунду. Работа оператора занимает  $9 \pm 3$  секунды.

Необходимо смоделировать работу частного узла телефонной связи в течение 1 часа, а также:

- 1) Определить коэффициент использования оператора, сигнализаторов, внутренних и внешних линий, параллельных телефонов.
- 2) Определить количество внутренних и внешних звонков, обрабатываемых каждую минуту.
- 3) Определить, достаточно ли внутренних и внешних линий, сигнализаторов.

Ниже представлен листинг базовой модели.

\* Модель частной телефонной системы

\* Время в секундах

\*\*\*\*\*

Transit TABLE M1,20,20,20

\*\*\*\*\*

Extensions STORAGE 200

Extlines STORAGE 30

Intlines STORAGE 30

Signals STORAGE 8

Operator STORAGE 1

\*\*\*\*\*

\* Определение переменных

Internal VARIABLE 1260/(1+R\$Extensions)

External VARIABLE 2500/(R\$Extensions+S\$Extensions)

\*

\* Таблицы количества звонков

Callsint TABLE S\$Intlines,2,2,20

Callsext TABLE S\$Extlines,2,2,20

\*\*\*\*\*

\* Генерируются звонки, поступающие с внутренних телефонов.

	GENERATE	(Exponential (1,0 ,V\$Internal)), 0 ,20	; Вн. звонки.
	ENTER	Extensions	; Снята трубка телефона.
	QUEUE	Inside	; Очередь на сигнализатор.
	ENTER	Signals	; Занимается сигнализатор.
	DEPART	Inside	; Выход из очереди.
	ADVANCE	7,2	; Время для сигнализации.
	LEAVE	Signals	; Сигнализатор освобождается.
	TRANSFER	.333,,Intout	; 44% звонков на внешние линии.
Intint	TEST GE	R\$Intlines,1, Breakoff	; Проверка доступности.
	ENTER	Intlines	; Занимается внутренняя линия.
	ADVANCE	4,1	; Проводится проверка, занят ли телефон.
	TRANSFER	.15,,Busy	; Некоторые парал. телефоны заняты.
Aline	ENTER	Extensions	; Другие не заняты.
	ADVANCE	6,2	; Время для звонка по парал. телефону.
	TRANSFER	.2,,Nogood	; 20% не отвечают.
	ADVANCE	(Normal (2,150,30))	; Продолжительность звонка.
Nogood	LEAVE	Extension	; Парал. телефон освобождается.
Busy	LEAVE	Intlines	; Внутренняя линия освобождается.
	TRANSFER	, Breakoff	

\* Модель звонков с внутренних телефонов на внешние линии.

Intout	TEST GE	R\$Extlines, 1 ,Breakoff	; Доступна ли внешняя линия?
	ENTER	Extlines	; Занимается внешняя линия.
	ADVANCE	4,1	; Время для проверки на занятость.
	TRANSFER	.200,,Nobody	; 20% заняты.
	ADVANCE	6,2	; Время для ответа.
	TRANSFER	.200,,Nobody	; 20% не отвечают.
	ADVANCE	(Normal (2,150 ,30) )	; Продолжительность звонка.
	TABULATE	Transit	; Запись транзитного времени.
Nobody	LEAVE	Extlines ,	; Внешняя линия освобождается.
Breakoff	LEAVE	Extensions	; Паралл. телефон свободен.
	TERMINATE		

\* Обработка внешних звонков.

	GENERATE	(Exponential(1,0,V\$External))	; Внешние звонки.
	TEST GE	R\$Extlines,1,Nonefree	; Доступна ли внешняя линия?
	ENTER	Extlines	; Занимается внешняя линия.
	QUEUE	Outsider	; Очередь к оператору.
	ENTER	Operator	; Занимается оператор.
	DEPART	Outsider	; Выход из очереди.
	ADVANCE	9,3	; Оператор обслуживает звонок.
	LEAVE	Operator	; Оператор освобождается.
	ADVANCE	4,1	; Заняты ли телефоны?
	TRANSFER	.15,,Engaged	; Некоторые парал. заняты.
	ENTER	Extensions	; Занимается парал. телефон.

	ADVANCE	6,2	; Время для звонка.
	TRANSFER	.200,,Noperson	;20% не отвечают.
	ADVANCE	(Normal(2,150,30))	;Время звонка.
	TABULATE	Transit	;Запись транзитного времени.
Noperson	LEAVE	Extensions	; Паралл. телефон освобождается.
Engaged	LEAVE	Extlines	; Внешняя линия освобождается.
Nonefree	TERMINATE		
	GENERATE	3600	Транзакт каждый час.
	TERMINATE	1	; Счетчик завершения.
	GENERATE	60	; Транзакт каждую минуту.
	TABULATE	Callsint	; Количество внутренних звонков.
	TABULATE	Callsext	Количество внешних звонков.
	TERMINATE		

Эта модель состоит из нескольких сегментов. После определения памятей, таблиц и переменных в модели идут еще три сегмента. Транзакты в верхнем сегменте представляют внутренние звонки, транзакты второго сегмента представляют внешние звонки, транзакты третьего сегмента подсчитывают звонки, происходящие каждую минуту, и определяют время выполнения процесса моделирования путем уменьшения счетчика завершения на единицу за один моделируемый час.

Выберите Command / Create Simulation (Команда / Создать процесс моделирования) и Command / START (Команда / START). Так как мы хотим использовать 1 в качестве значения счетчика завершения, в диалоговом окне нажмите ОК.

Процесс моделирования завершится, когда транзакт войдет в блок TERMINATE 1, что представляет 1 час работы.

После завершения процесса моделирования GPSS World выводит отчет в файл отчета, заданного по умолчанию. Сделаем анализ полученных результатов.

Коэффициенты использования оператора, сигнализаторов, внутренних и внешних линий, параллельных телефонов составили 69%, 12%, 41%, 44% и 15% соответственно.

Среднее количество внутренних звонков составило 9.47, а внешних – 14.17 (выборка производилась каждую моделируемую минуту). Информация взята из раздела стандартного отчета, посвященного таблицам.

Из коэффициентов использования очевидно, что конфигурация линий достаточна для такого количества звонков. Больше всего используются внешние линии. Интересно выяснить, приведет ли увеличение количества внешних линий к значительному уменьшению времени задержки звонков. В любом случае достаточность пропускной способности системы в случае значительного увеличения трафика находится под сомнением. Если такое изменение трафика возможно, необходимо поэкспериментировать с увеличением количества звонков и корректирующими действиями.

Откройте несколько графических окон. Выберите Window / Simulation Window / Table Window (Окно / Окно процесса моделирования / Окно «Таблица»). В выпадающем списке диалогового окна выберите TRANSIT.

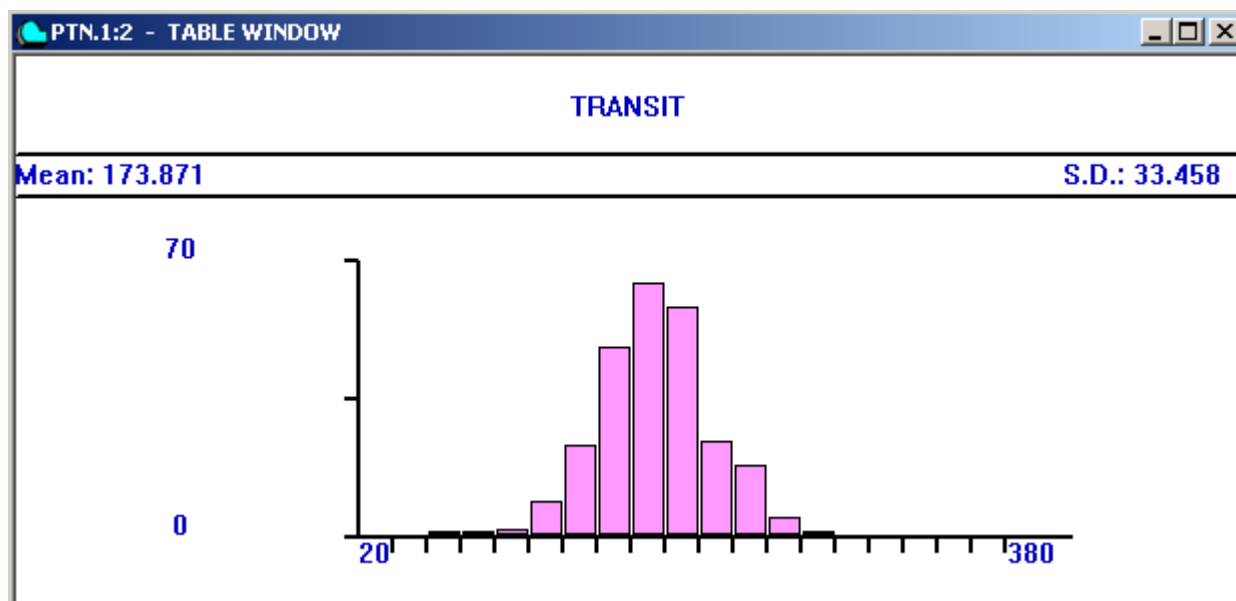


Рисунок 5.1 – Таблица TRANSIT

Каждое окно «Table» («Таблица») дает информацию об одной из таблиц или Q-таблиц, определенных в модели. Таблица GPSS с именем TRANSIT показывает распределение времени выполнения звонков. Оно составило в среднем 174 секунды. Посмотрим на следующую таблицу.

Выберите Window / Simulation Window / Table Window (Окно / Окно процесса моделирования / Окно «Таблица»). В выпадающем списке диалогового окна выберите CALLSINT.

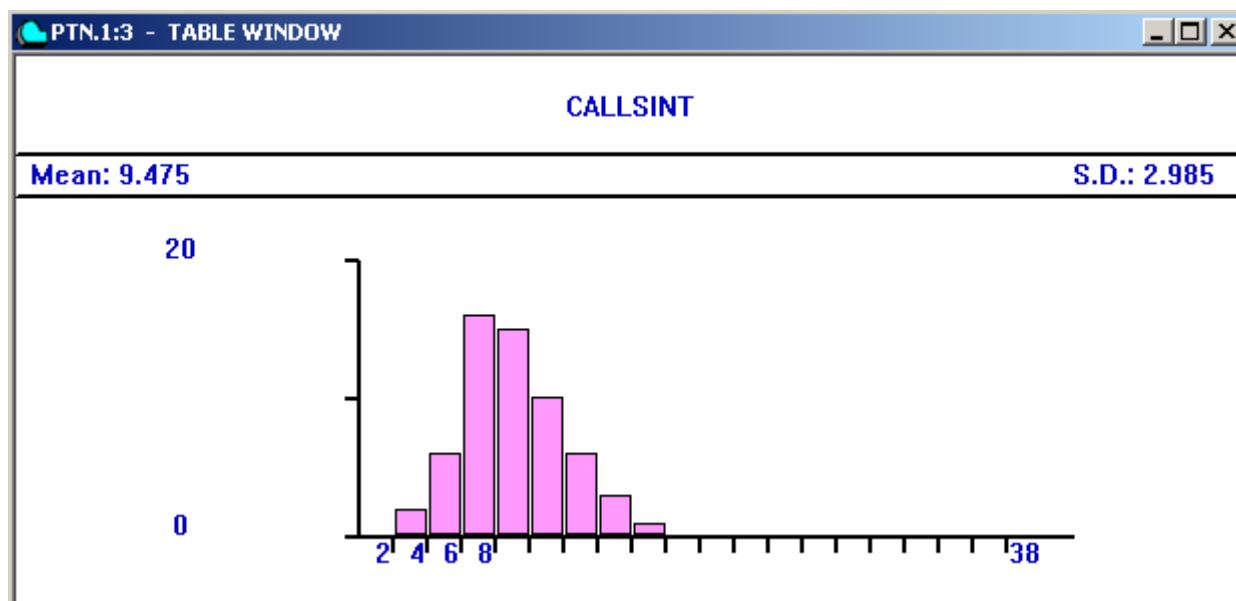


Рисунок 5.2 – Таблица CALLSINT

Таблица GPSS с именем CALLSINT показывает распределение внутренних звонков в процессе моделирования (выборка производилась каждую моделируемую минуту).

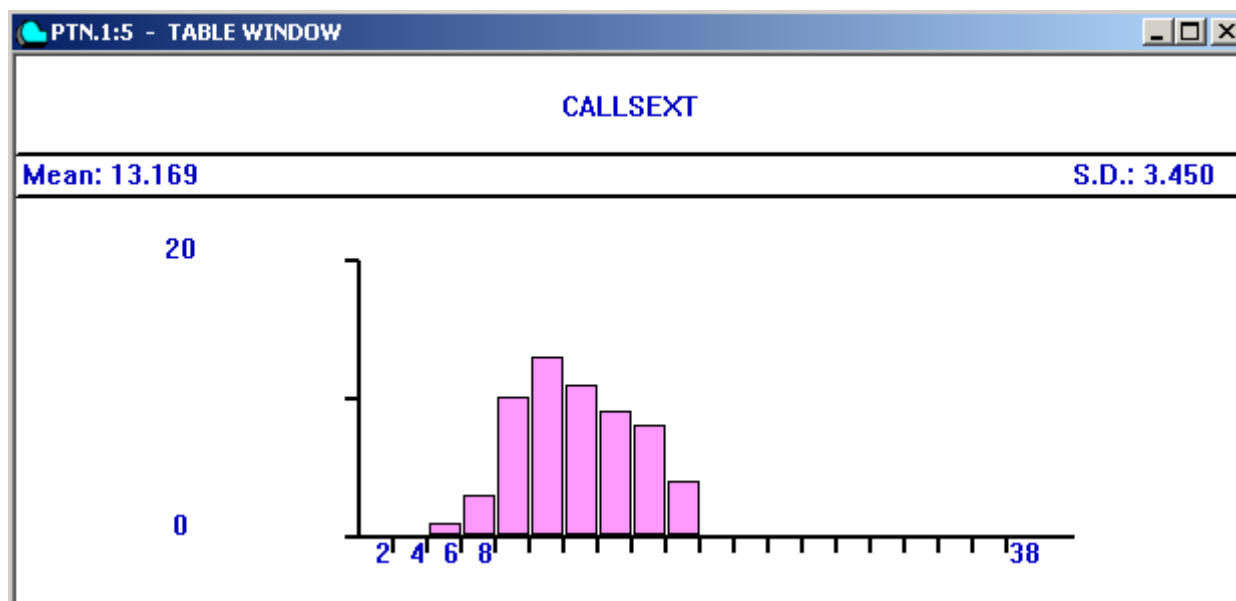


Рисунок 5.3 – Таблица CALLSEXT

Таблица GPSS, которую назвали CALLSEXT, показывает распределение внешних звонков в процессе, моделирующем каждую минуту.

Теперь посмотрим на использование ресурсов. Выберите Window /Simulation Window /Storages Window (Окно / Окно процесса моделирования / Окно «Памяти»). Окно «Storages» («Памяти») показывает статистику, связанную с оператором, параллельными телефонами, внешними и внутренними линиями, сигнализаторами. Из всего оборудования больше всего использовался набор внешних линий. Вы можете увеличить размер окна, чтобы увидеть всю информацию. Память, представляющая оператора, показывает нам, что оператор был занят 69% времени (обведено на рисунке 5.4).

PTN.1:6 - STORAGE ENTITIES

Location

Find Continue Halt Step

Storage	Utilization	Delay Chain	Capacity	Storage In Use	Min In Use	Max In Use	Entry Count	A
EXTENSIONS	0.154	0	200	33	0	55	971	
EXTLINES	0.440	0	30	17	0	23	437	
INTLINES	0.311	0	30	9	0	21	317	
SIGNALS	0.116	0	8	0	0	6	476	
OPERATOR	0.692	0	1	1	0	1	278	

Рисунок 5.4 – Окно памяти

Прежде чем заново запустить процесс моделирования, закроем открытые окна. Помните, что лучше всего держать открытыми только те окна, которые вы активно используете.

Посмотрим, как изменяются очереди по мере поступления звонков. Выберите Window / Simulation Window / Blocks Window (Окно / Окно процесса моделирования / Окно «Блоки»).

Мы также можем наблюдать за различными значениями в ходе процесса моделирования.

Выберите Window / Simulation Window / Expression Window (Окно / Окно процесса моделирования / Окно «Выражения»). Открывается окно «Edit Expression» («Редактор выражения»).

Для ввода значения в пустое поле диалогового окна необходимо поместить указатель мыши в его начало и нажать один раз левую кнопку. Не используйте клавишу [Enter] для перехода от одного поля ввода к другому, так как в этом случае GPSS World решит, что все значения были введены. Для перемещения от поля к полю можно использовать клавишу [Tab]. Теперь в поле «Label» («Метка») диалогового окна наберите Время, а в поле «Expression» («Выражение») – AC1.

Нажмите кнопки «View» («Просмотр») и «Memorize» («Запомнить»).

Если выражение было запомнено, то можно закрыть это окно, позже открыть его снова и восстановить все значения. Если процесс моделирования был сохранен, значения в окне «Expression» («Выражения») сохраняются вместе с ним, если ранее они были запомнены.

В поле «Label» («Метка») вместо текущего значения наберите:

- внутренние линии;

- в поле «Expression» («Выражения») вместо текущего значения наберите S\$Intlines;

- нажмите кнопки «View» («Просмотр») и «Memorize» («Запомнить»). В поле «Label» («Метка») вместо текущего значения наберите Внешние линии.

В поле «Expression» («Выражения») вместо текущего значения наберите S\$Extlines. Нажмите кнопки «View» («Просмотр») и «Memorize» («Запомнить»).

Также мы будем наблюдать за параллельными телефонами. В поле «Label» («Метка») вместо текущего значения наберите «Параллельные телефоны». В поле «Expression» («Выражения») вместо текущего значения наберите S\$Extensions. Нажмите кнопки «View» («Просмотр») и «Memorize» («Запомнить»). Нажмите ОК.

Теперь запустим процесс моделирования и проследим за значениями в окне «Expression» («Выражения»), а также за количеством входов в блоки в окне «Blocks» («Блоки»). Убедитесь, что вы поместили окна так, чтобы могли видеть соответствующие части обоих окон. Для этого лучше всего свернуть окно «Model» («Модель»), а затем окно «Expression» («Выражения») поместить в нижнем левом углу поверх окна «Blocks» («Блоки»).

Выберите Command / START (Команда / START), в диалоговом окне вместо 1 наберите 15.

## **5.6 Контрольные вопросы**

1. Укажите режимы функционирования блоков TRANSFER.
2. Достаточно ли внутренних и внешних линий, сигнализаторов, параллельных телефонов для эффективной работы системы?
3. Чему равно среднее и максимальное время выполнения звонков?
4. Определите среднее число занятых внешних и внутренних линий.
5. Насколько эффективно используются имеющиеся ресурсы (внутренние и внешние линии, сигнализаторы, оператор)?

## **6 Лабораторная работа № 6. Исследование на имитационной модели работы телефонной сети**

Цель работы: анализ модели работы телефонной сети, приобретение навыков использования динамических окон системы GPSS WORLD для анализа работы сети.

### **6.1 Подготовка к работе**

6.1.1 Изучить пункты главного меню системы GPSS World, необходимые в работе: Window/Simulation, Window/Table/Storage/Expression.

6.1.2 Изучить блоки и команды, необходимые в модели

### **6.2 Задание к работе**

Изучить базовую модель телефонной сети, освоить работу с базовой моделью, используя динамические окна. Внести изменения в базовую модель соответственно вашему варианту. Провести процесс моделирования, получить результаты, сделать анализ и выводы.

### **6.3 Порядок выполнения работы**

- 6.3.1 Получить задание и вариант работы у преподавателя.
- 6.3.2 Осуществить ввод операторов базовой модели.
- 5.3.3 Отладить программу.
- 6.3.4 Прodelать по шагам п. 6.5.1 для своей модели.
- 6.3.5 Определить коэффициент использования линий связи, среднее значение использованных линий за период моделирования.
- 6.3.6 Определить количество ожидающих вызовов в конце моделирования, среднее число ожидающих вызовов в течение времени моделирования, среднее время ожидания вызова.



6.3.7 Вывести на экран график зависимости между указанными параметрами (по варианту).

6.3.8 Получить результат моделирования в виде отчета, графиков и оперативного экрана.

6.3.9 Подготовить отчет о выполненной работе, где представить свою модель, результаты моделирования и сделать выводы.

## 6.4 Варианты лабораторной работы

Т а б л и ц а 6.1

Номер варианта	Ось абсцисс X	Ось ординат Y
1,6,11	Время моделирования	Число занятых линий
2,7,12	Время моделирования	Число свободных линий
3,8,13	Время моделирования	Коэффициент использования сети
4,9,14	Время моделирования	Среднее число занятых линий
5,10,15	Время моделирования	Среднее время использования одной линии

## 6.5 Методические указания к выполнению лабораторной работы

Рассмотрим работу телефонной сети, имеющей 50 абонентских линий связи, причем одновременно может быть задействовано не более 10 связей между абонентами. Каждый абонент может соединиться с остальными, если свободны его входная линия связи и входная линия вызываемого абонента. Из 50 линий для организации связи могут использоваться любые две свободные линии. Необходимо промоделировать работу телефонной сети для 1000 вызовов. Интервалы между вызовами и длительность разговора распределены по экспоненциальному закону. Предусматривается, что первые 15 вызовов образуют переходной процесс в сети и эти данные не нужно учитывать при моделировании.

Необходимо:

1) Определить коэффициент использования линий связи, среднее значение использованных линий за период моделирования.

2) Определить количество ожидающих вызовов в конце моделирования, среднее число ожидающих вызовов в течение времени моделирования, среднее время ожидания вызова.

3) Вывести на экран график изменения указанного параметра во времени (по варианту).

Ниже представлен листинг базовой модели.

POISS FUNCTION RN1,C24  
0.0,0.0/0.1,0.104/0.2,0.222/0.3,0.355/0.4,0.509/0.5,0.69/ ; Функция интервалов

0.6,0.915/0.7,1.2/0.75,1.38/0.8,1.6/0.84,1.83/0.88,1.12/ ; между вызовами		
0.9,1.3/0.92,1.52/0.94,1.81/0.95,1.99/0.96,3.2/0.97,3.5/		
0.98,3.9/0.99,4.6/0.995,5.3/0.998,6.2/0.999,7/0.99997,8		
	GENERATE	12,FN\$POISS ; Генерация вызова
	TEST G	V\$FREELN,2,ABND ; Система заполнена?
ASN1	ASSIGN	1,V\$LINE ; Номер входной линии
	GATE LR	*1,ASN1 ; Проверка занятости линии
ASN2	ASSIGN	2,V\$LINE ;Выбор адресата связи
	TEST NE	P1,P2,ASN2 ; Адресат совпадает со входной?
	LOGIC S	*1 ; Установить входную занятой.
	TRANSFER	BOTH,,BLKD ; Дождаться связи
GETL	ENTER	LNKS ; Установить связь
	GATE LR	*2,BUSY ; Проверка занятости
	LOGIC S	*2 ; Установить адресат занятым
	ADVANCE	120,FN\$POISS ; Разговор
	LOGIC R	*1 ; Установить входную свободной
	LOGIC R	*2 ; Установить адресат свободным
	LEAVE	LNKS ; Освободить связь
CKCH	TEST G	CH\$WAIT,0,MTRM ; Есть ли ожидающие?
	GATE LR	1,GETF ; Свободна ли входная?
	UNLINK	WAIT,GETL,1,2,1 ; Проверить список
MTRM	TERMINATE	1
GETF	UNLINK	WAIT,GETL,1 ; Подключить первый из списка
	TRANSFER	,MTRM
ABND	TERMINATE	; Отказаться от вызова
BLKD	LINK	WAIT,P1 ; Добавить в список
BUSY	LOGIC R	*1 ; Освободить линию
	LEAVE	LNKS ; Освободить связь
	TRANSFER	,CKCH ;
LNKS	STORAGE	10 ; Количество связей
LINE	VARIABLE	X\$NRLINES#RN1/1000+1 ; Выбор линии
FREELN	VARIABLE	X\$NRLINES-2#\$LNKS-CH\$WAIT ; Номер свободной линии
	INITIAL	X\$NRLINES,50 ; Количество линий для связи
	START	15,NP ; 15 проходов
	RESET	; Сброс статистики

Запуск процесса моделирования.

Необходимо создать процесс моделирования. Выберите Command / Create Simulation.

Затем выберите Command / START. Когда появится диалоговое окно, замените значение 1 на 1000 и нажмите OK.

После завершения процесса моделирования GPSS World выводит отчет в файл отчета, заданного по умолчанию.

Этот отчет будет автоматически выведен в окно. Если вы закроете окно, повторно его можно будет открыть с помощью команды главного меню File / Open. Затем в выпадающем списке «Files of type» («Тип файла») выбрать Report (Отчет).

Из значения End Time в стандартном отчете мы видим, что к моменту, когда 1000 вызовов поступят в сеть, прошло 14975.179 минуты. Повторное моделирование благодаря использованию случайных чисел даст немного другие значения.

Используя данные, представленные в отчете, подготовьте ответы на первые два вопроса задания.

Поскольку в сети одновременно могут быть задействованы 10 связей, количество одновременных связей представлено как многоканальное устройство (МКУ) LNKS и описано оператором STORAGE.

Запустите снова процесс моделирования. Выберите Window / Simulation Window / Storages Window. Затем выберите Command / START. Когда появится диалоговое окно, замените значение 1 на 1000 и нажмите ОК. Перед вами появится подробный обзор окна «Storages» («Памяти»). Обратите внимание, что загрузка составила 64%. Здесь же можно определить минимальное, максимальное и среднее число использованных линий.

Для того чтобы вывести на экран график зависимости между заданными параметрами, необходимо выполнить следующие действия:

- 1) Выберите Command / Create Simulation.
- 2) Выберите Window/Simulation Window/Plot Window.
- 3) Заполнить диалоговое окно и нажать ОК (рисунок 6.1).
- 4) Запустить процесс имитационного моделирования, выбрав Command / START. Когда появится диалоговое окно, замените значение 1 на 1000 и нажмите ОК.

Например, если необходимо установить зависимость между текущим временем и числом связей, то необходимо заполнить диалоговое окно, как на рисунке 6.1.

Из значения End Time в стандартном отчете мы видим, что к моменту, когда 1000 вызовов поступят в сеть, прошло 14975.179 минуты. Поэтому в диалоговом окне значение Time Range выбираем равным 16000 мин. Время у нас будет изменяться по оси абсцисс, предельное значение – 16000. На оси ординат будет отложено число связей за время моделирования, нам известно, что максимальное число связей равно 10. В диалоговом окне установим Min Value – 0, а Max Value – 10. После того как будет выполнен пункт 4, экран будет выглядеть, как на рисунке 6.1.

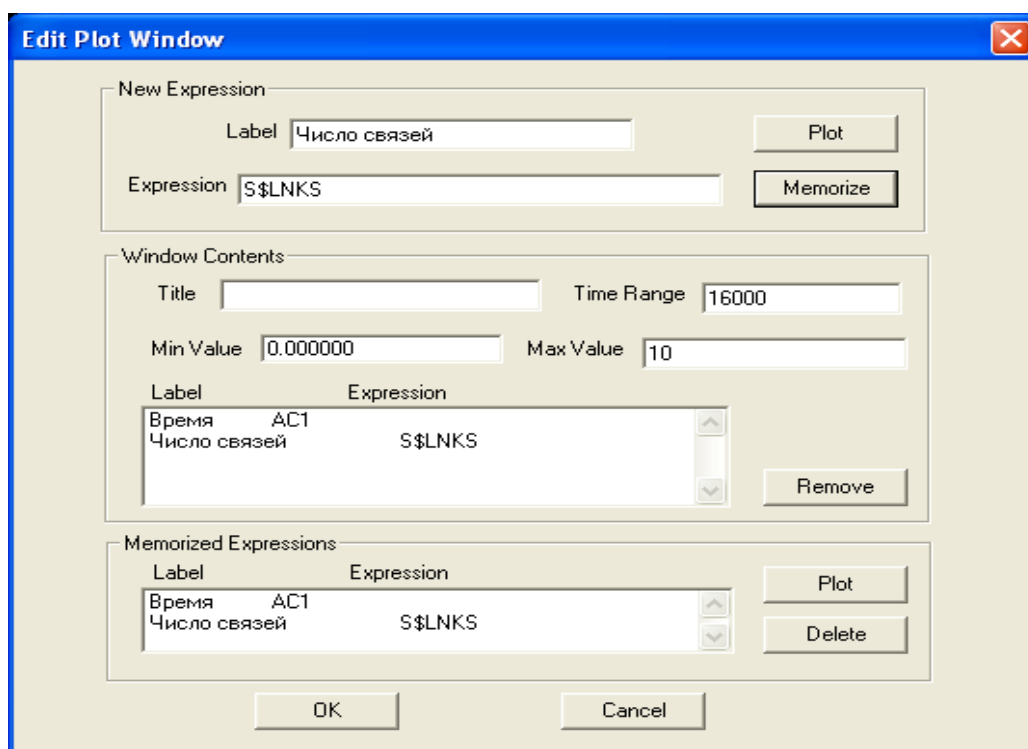


Рисунок 6.1 – Диалоговое окно «Plot Window»

Теперь необходимо ещё раз создать процесс моделирования. Выберите Command / Create Simulation.

Затем выберите Command / START. Когда появится диалоговое окно, замените значение 1 на 1000 и нажмите OK. После этого вы будете наблюдать процесс моделирования в окне «Plot» (рисунок 6.3).

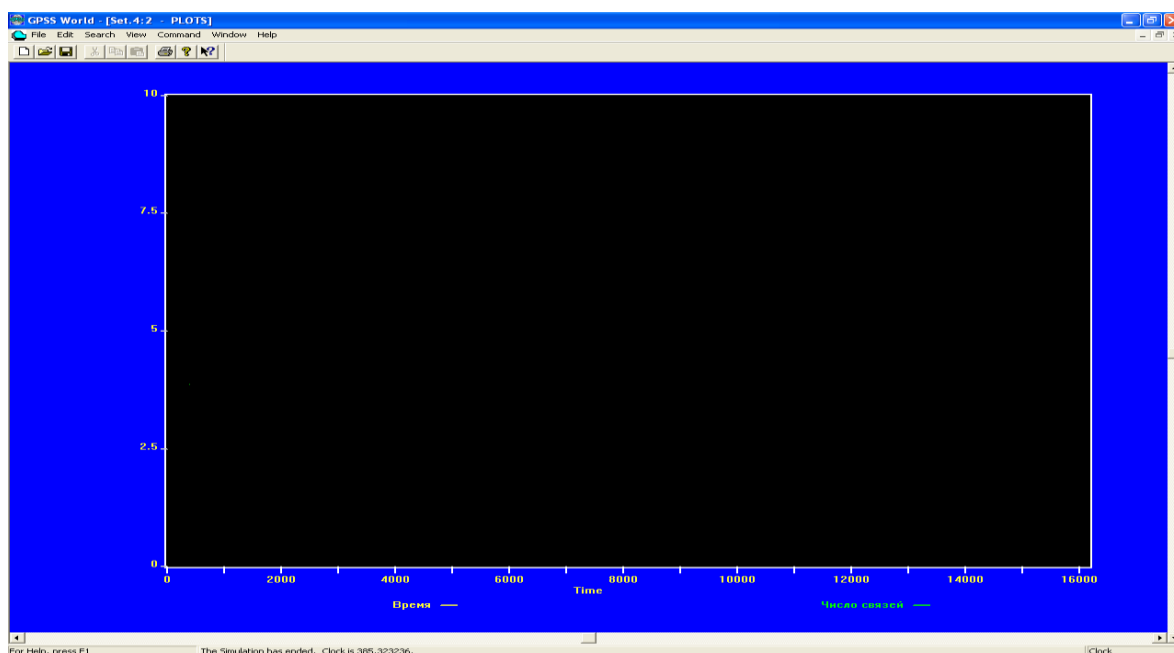


Рисунок 6.2 – Окно «Edit Plot»

Ваш отчет должен содержать не только ответы на поставленные вопросы и построенный график, но и содержать анализ полученных результатов.

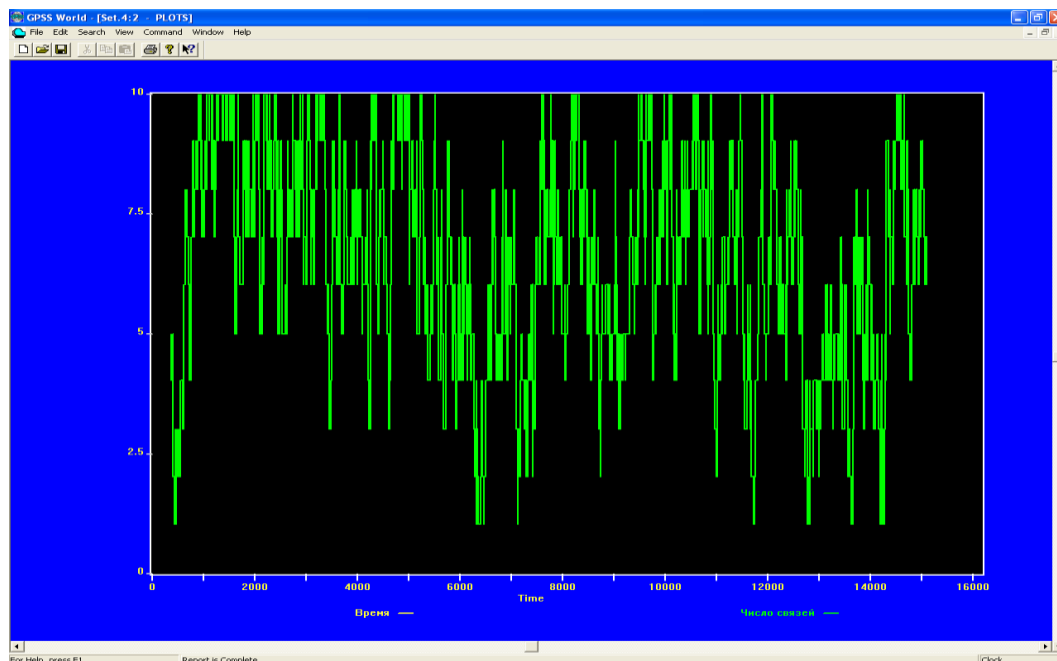


Рисунок 6.3 – Окно «Plot» («График»)

## 6.6 Контрольные вопросы

1. Какими способами можно получить неравномерно распределенные случайные величины в среде GPSS?
2. Для чего используются функции в GPSS?
3. Как задаются функции? Типы функций.
4. Как задать переменную (VARIABLE) в GPSS?
5. Каким образом можно получить графическое отображение изменения параметров во времени?

## 7 Лабораторная работа № 7. Моделирование работы переговорного пункта

Цель работы: имитационное моделирование работы переговорного пункта в среде GPSS World.

### 7.1 Подготовка к работе

7.1.1 Изучить пункты главного меню системы GPSS World, необходимые в работе: Window/Simulation, Window/Table, Edit/Setting.

7.1.2 Изучить блоки и команды, необходимые в модели.

## 7.2 Задание к работе

Изучить базовую модель работы переговорного пункта, освоить работу с базовой моделью, используя динамические окна. Внести изменения в базовую модель соответственно вашему варианту. Провести процесс моделирования, получить результаты, выполнить анализ и сделать выводы.

## 7.3 Порядок выполнения работы

7.3.1 Получить задание и вариант работы у преподавателя.

7.3.2 Осуществить ввод операторов базовой модели.

7.3.3 Отладить программу.

7.3.4 Внести изменения в базовую модель в соответствии со своим вариантом.

7.3.4 Прodelать по шагам пункт 7.5.3 для своей модели.

7.3.5 Определить коэффициент загрузки переговорного пункта.

7.3.6 Определить количество ожидающих вызовов в конце моделирования, среднее число ожидающих вызовов в течение времени моделирования, среднее время ожидания вызова.

7.3.7 Максимальное, среднее и текущее число посетителей в переговорном пункте; число ожидающих посетителей в конце моделирования.

7.3.8 Среднее время обслуживания в переговорном пункте.

7.3.9 Собрать статистику об указанной (по варианту) величине и представить результат в виде гистограммы.

7.3.10 Получить результат моделирования в виде отчета, гистограмм и оперативного экрана.

7.3.11 Подготовить отчет о выполненной работе, где представить свою модель, результаты моделирования и сделать выводы.

## 7.4 Варианты лабораторной работы

Т а б л и ц а 7.1

Номер варианта	Число телефонов	Интервал между абонентами	Время оплаты	Время разговора	Время ожидания	Параметр гистограммы
1	5	$1,65 \pm 1$	$1,1 \pm 0,1$	$4,1 \pm 1,15$	$3,2 \pm 1,0$	Время оплаты
2	4	$1,67 \pm 1,1$	$1,2 \pm 0,2$	$4,2 \pm 1,16$	$3,1 \pm 1,1$	Длина очереди к кассиру
3	3	$1,69 \pm 1,2$	$1,3 \pm 0,3$	$4,3 \pm 1,17$	$3,3 \pm 1,2$	Время ожидания в очереди
4	9	$1,71 \pm 1,3$	$1,4 \pm 0,4$	$4,4 \pm 1,18$	$3,4 \pm 1,3$	Число занятых тел.

5	7	$1,73 \pm 1$	$1,5 \pm 0,5$	$4,5 \pm 1,19$	$3,5 \pm 1,4$	Число свободных телефонов
6	8	$1,75 \pm 1,1$	$1,6 \pm 0,6$	$4,6 \pm 1,20$	$3,6 \pm 1,5$	Время пребывания в пункте
7	6	$1,77 \pm 1,4$	$1,7 \pm 0,7$	$4,7 \pm 1,21$	$3,7 \pm 1,6$	Время оплаты
8	10	$1,79 \pm 1,2$	$1,8 \pm 0,8$	$4,8 \pm 1,22$	$4,0 \pm 1,7$	Длина очереди к кассиру
9	5	$1,81 \pm 1,3$	$1,9 \pm 0,9$	$4,9 \pm 1,23$	$3,8 \pm 1,8$	Время ожидания в очереди
10	4	$1,83 \pm 1,1$	$1,7 \pm 0,7$	$5,0 \pm 1,24$	$3,9 \pm 1,9$	Число занятых тел.
11	3	$1,87 \pm 1,5$	$1,3 \pm 0,3$	$5,1 \pm 1,25$	$4,1 \pm 1,92$	Число свободных телефонов
12	9	$1,89 \pm 1,2$	$1,2 \pm 0,2$	$5,2 \pm 1,26$	$4,2 \pm 1,96$	Время пребывания в пункте
13	7	$1,82 \pm 1,1$	$1,1 \pm 0,3$	$5,3 \pm 1,27$	$4,3 \pm 1,94$	Число занятых тел.
14	8	$1,84 \pm 1$	$1,4 \pm 0,6$	$5,4 \pm 1,28$	$4,4 \pm 1,95$	Число свободных телефонов
15	6	$1,86 \pm 1,3$	$1,5 \pm 0,2$	$5,5 \pm 1,29$	$4,5 \pm 1,93$	Время преб. в пункте

## 7.5 Методические указания к выполнению лабораторной работы

### Описание объекта моделирования

Рассмотрим работу переговорного пункта для  $K$  абонентов. Интервал между прибытиями абонентов колеблется в пределах  $A \pm B$  мин. Время оплаты каждого разговора составляет  $C \pm D$  мин., а время разговора по телефону составляет  $E \pm F$  мин. Поток посетителей, приходящих в переговорный пункт, равномерный. Время ожидания вызова абонента составляет  $M \pm N$  мин. Время разговора абонентов, оплаты разговора и ожидания вызова абонента подчиняется равномерному закону распределения. Если все телефоны переговорного пункта заняты, то посетитель ожидает освобождения одного из них.

Необходимо:

- 1) Определить коэффициент загрузки переговорного пункта.

2) Определить количество ожидающих вызовов в конце моделирования, среднее число ожидающих вызовов в течение времени моделирования, среднее время ожидания вызова.

3) Максимальное, среднее и текущее число посетителей в переговорном пункте.

4) Среднее время обслуживания в переговорном пункте.

5) Собрать статистику об указанной (по варианту) величине и представить результат в виде гистограммы.

Листинг базовой модели.

Punkt	STORAGE	4
Transit	TABLE	M1,0.5,1,30
	GENERATE	1.85, 1
Povtor	GATE SNF	Punkt, Zanyt
	ENTER	Punkt
	QUEUE	Ocher_kassir
	SEIZE	Kassir
	DEPART	Ocher_kassir
	ADVANCE	1.5, 0.4
	RELEASE	Kassir
	ADVANCE	4.4, 1.35
	LEAVE	Punkt
	TABULATE	Transit
	TERMINATE	
Zanyt	ADVANCE	3.5,1.1
	TRANSFER	, Povtor
	GENERATE	480
	TERMINATE	1
	START	1

Запуск процесса моделирования

Перед началом моделирования можно установить вывод тех параметров моделирования, которые необходимы. Для этого выберите Edit/Settings. Появится диалоговое окно, в котором можно установить нужные выходные параметры. Для имитационной модели переговорного пункта диалоговое окно можно представить, как на рисунке 7.1. Наличие галочки говорит о том, что эта информация будет выведена в окне результатов моделирования. Для нас необходима информация о следующих объектах: очереди, каналах обслуживания, многоканальном устройстве (МКУ) и гистограммах.



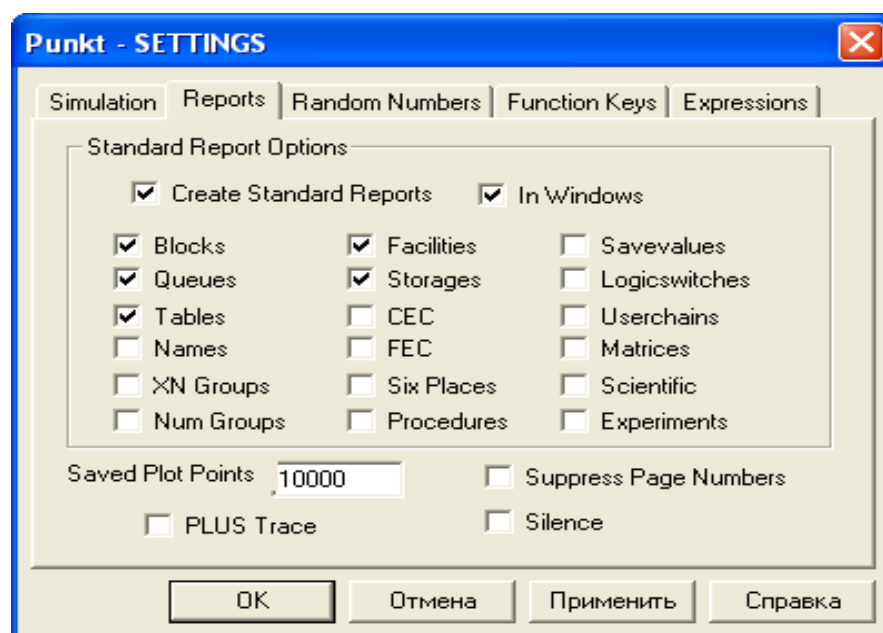


Рисунок 7.1 – Окно «SETTINGS»

Необходимо создать процесс моделирования. Выберите Command / Create Simulation. Начнется трансляция исходной модели, а затем ее выполнение, поскольку в программе имеется управляющая команда START, обеспечивающая автоматическое выполнение программы.

После завершения процесса моделирования GPSS World выводит отчет в файл отчета, заданного по умолчанию.

Этот отчет будет автоматически выведен в окно. Если вы закроете окно, повторно его можно будет открыть с помощью команды главного меню File / Open. Затем в выпадающем списке «Files of type» («Тип файла») выбрать Report (Отчет).

Из значения End Time в стандартном отчете мы видим, что время моделирования составило 480 мин., как было задано в программе. Число посетителей, оплативших разговор, составило 260. Повторное моделирование благодаря использованию случайных чисел даст немного другие значения.

Используя данные, представленные в отчете, подготовьте ответы на первые четыре вопроса задания.

В отчете по лабораторной работе нужно представить гистограмму Transit для базовой модели.

Для того чтобы получить гистограмму для базовой модели, необходимо выполнить Window / Simulation Window / Table Window.

Появится диалоговое окно с названием гистограммы для базовой модели (рисунок 7.2).

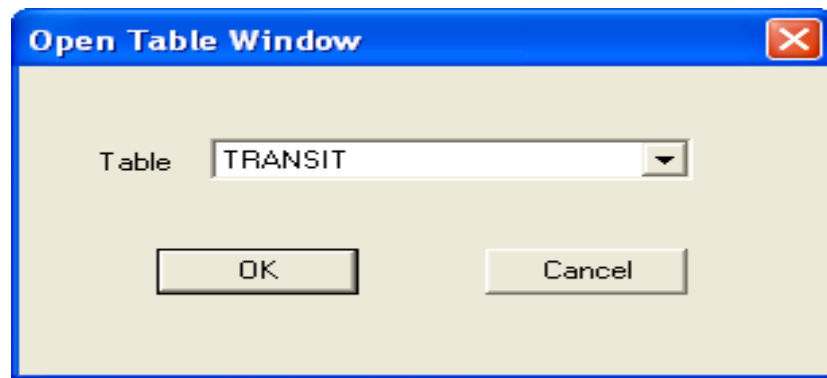


Рисунок 7.2 – Окно «Open Table Window»

После того как вы щелкнете по кнопке ОК, на экране появится гистограмма (рисунок 7.3).

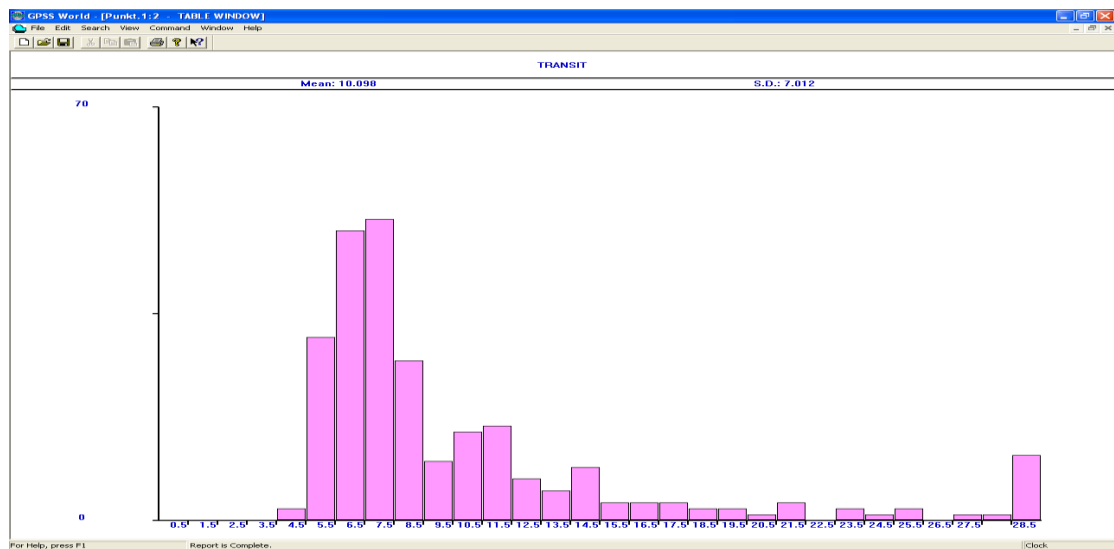


Рисунок 7.3 – Гистограмма «Transit»

Введите в базовую модель данные вашего варианта, создайте процесс моделирования еще раз, подготовьте ответы на первые четыре вопроса задания.

Теперь вам нужно построить свою гистограмму для параметра, указанного в вашем варианте. Информация для построения гистограммы собирается с помощью оператора TABLE. Поэтому необходимо внести изменения во вторую строку программы, где находится данный оператор. Вы можете изменить название гистограммы. В поле первого операнда вставьте СЧА вашего варианта. Чтобы заполнить остальные поля операндов, нужно посмотреть в отчете границы изменения интересующего вас параметра. После этого запустите процесс моделирования еще раз: Command / Create Simulation. Затем выберите Window / Simulation Window / Table Window. Появится диалоговое окно с названием вашей гистограммы, щелкнете по кнопке ОК.

## **7.6 Контрольные вопросы**

1. Сколько времени в среднем проводит посетитель в переговорном пункте?
2. Каково максимальное время пребывания посетителя в переговорном пункте?
3. Какие СЧА используются в статистических таблицах для характеристики случайных величин «Длина очереди к кассиру», «Время пребывания посетителя в переговорном пункте»?
4. Как определить максимальное, среднее и текущее число посетителей в переговорном пункте?
5. Для чего предназначен пункт меню SETTINGS?

## **8 Лабораторная работа № 8. Моделирование локального концентратора**

Цель работы: исследование функционирования локальных концентраторов при низкой и высокой загрузке.

### **8.1 Подготовка к работе**

- 8.1.1 Изучить работу локального концентратора.
- 8.1.2 Изучить необходимые в моделях блоки и команды. Ознакомиться с правилами построения библиотечных генераторов случайных чисел в GPSS WORLD.

### **8.2 Задание к работе**

Построить модели концентраторов на GPSS WORLD при различных законах распределения времени обслуживания пакетов. Провести процесс моделирования, получить результаты, сделать выводы.

### **8.3 Порядок выполнения работы**

- 8.3.1 Получить задание и вариант работы у преподавателя.
- 8.3.2 Написать 3 имитационные модели на GPSS WORLD для следующих систем 1) M/M/1, 2) M/G/1, 3) M/D/1. При написании моделей воспользоваться данными своего варианта из таблицы 8.1.
- 8.3.3 Отладить программы.
- 8.3.4 Исследовать все системы при низкой (интенсивность поступления транзактов  $\lambda$  составляет 0,4 от интенсивности обслуживания) и высокой (интенсивность поступления транзактов  $\lambda$  составляет 0,99 от интенсивности обслуживания) загрузки. Зафиксировать значения среднего времени пребывания пакета в очереди, средней длины очереди и коэффициента использования (загрузки) концентратора для каждой системы при минимальном и максимальном значениях  $\lambda$ .

8.3.5 Сделать выводы о влиянии типа обслуживания на длину очереди и загрузженность системы.

8.3.6 Построить графики изменения длины очереди от времени обслуживания при обоих загрузках. Графики строятся для одной из трех систем в соответствии с вариантом. Числовые значения для построения графиков занести в таблицу 8.1. Провести анализ полученных результатов.

8.3.7 Подготовить отчет о выполненной работе, где представить свои модели, результаты моделирования и сделать выводы.

## 8.4 Варианты лабораторной работы

Таблица 8.1 – Варианты индивидуальных заданий

Вариант	Модель 1 М/М/1	Модель 2 М/Г/1	Модель 3 М/Д/1	Модель для построения графиков (п. 8.4.6)
	Среднее время обслуживания $T_0$ , мс	Закон распределения времени обслуживания	Время обслуживания $T_0$ , мс	
1	2,5	Нормальное распределение с $M=2,5$ мс и $\sigma=0,5$ мс	2,5	М/М/1
2	2,8	Нормальное распределение с $M=2,8$ мс и $\sigma=0,6$ мс	2,8	М/Г/1
3	2,9	Нормальное распределение с $M=2,9$ мс и $\sigma=0,3$ мс	2,9	М/Д/1
4	2,6	Нормальное распределение с $M=2,6$ мс и $\sigma=0,8$ мс	2,6	М/М/1

Окончание таблицы 8.1

5	3,0	Нормальное распределение с $M=3$ мс и $\sigma=0,5$ мс	3,0	М/Г/1
6	2,4	Распределение Пуассона со средним значением 2,4	2,4	М/Д/1
7	2,2	Распределение Пуассона со средним значением 2,2	2,2	М/М/1
8	3,2	Распределение Пуассона со средним значением 3,2	3,2	М/Г/1

9	3,5	Распределение Пуассона со средним значением 3,5	3,5	M/D/1
10	2,7	Распределение Пуассона со средним значением 2,7	2,7	M/M/1
11	4,0	Распределение Пуассона со средним значением 4	4,0	M/G/1
12	3,6	Распределение Пуассона со средним значением 3,6	3,6	M/D/1
13	2,0	Распределение Пуассона со средним значением 2,0	2,0	M/M/1
14	3,3	Нормальное распределение с $M=3,3\text{мс}$ и $\sigma=1,2\text{мс}$	3,3	M/G/1
15	4,3	Нормальное распределение с $M=4,3\text{мс}$ и $\sigma=0,55\text{мс}$	4,3	M/D/1

Таблица 8.2 – Зависимость длины очереди от времени обслуживания

Порядковый номер прогона программы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время обслуживания $T_0$ , мс										

Окончание таблицы 8.2.

Длина очереди при $\lambda=0,4\mu$ , пакетов										
Длина очереди при $\lambda=0,99\mu$ , пакетов										

## 8.5 Методические указания к выполнению лабораторной работы

Локальный концентратор представляет собой наиболее простое сетевое устройство, которое обеспечивает связанность узлов одного ранга в рамках сегмента сети.

Отличием концентратора от других сетевых устройств является низкая загруженность в сравнении с производительностью самого концентратора и применение разделяемых ресурсов, таких как вычислительный процессор, память и шины данных.

При моделировании локального концентратора следует опираться на модель массового обслуживания, которая включает один входящий поток, один канал обслуживания и неограниченную очередь. По классификации Д. Кендалла такая система обозначается как G/G/1.

Во всех рассматриваемых в лабораторной работе моделях время между поступающими заявками подчиняется экспоненциальному закону распределения. Интенсивность поступления заявок (пакетов) принимается равной 0,4 от интенсивности обслуживания (при низкой загруженности) и 0,99 от интенсивности обслуживания (при высокой загруженности).

В модели M/M/1 время обслуживания подчиняется экспоненциальному закону распределения со средним значением  $T_0 = 1/\mu$ .

В модели M/G/1 время обслуживания подчиняется закону распределения, указанному в таблице 8.1 в зависимости от варианта. Если время обслуживания подчиняется нормальному закону распределения, то следует принимать интенсивность обслуживания равной обратной величине среднего времени обслуживания (математического ожидания M)  $\mu = 1/M$ .

При распределении времени обслуживания в соответствии с законом Пуассона также интенсивность обслуживания определяется по формуле:

$$\mu = 1/T_0,$$

где  $T_0$  – среднее время обслуживания.

В модели M/D/1 время обслуживания  $T_0$  постоянно и  $\mu = 1/T_0$ .

## 8.6 Контрольные вопросы к лабораторной работе

1. Чем отличаются разработанные вами модели?
2. Как вы использовали библиотечные функции в блоках GENERATE и ADVANCE?
3. При каком законе распределения времени обслуживания наибольшая длина очереди и время ожидания в очереди?
4. Ограничена ли во времени длина очереди?
5. Поясните принцип построения зависимости длины очереди от времени обслуживания на основе информации в отчете REPORT.

## **9 Лабораторная работа № 9. Моделирование локального коммутатора**

Цель работы: исследование работы локальных коммутаторов при низкой и высокой загруженности.

### **9.1 Подготовка к работе**

9.1.1 Изучить работу локального коммутатора. Изучить пункты главного меню системы GPSS WORLD, необходимые для выполнения работы.

9.1.2 Изучить необходимые в моделях блоки и команды.

### **9.2 Задание к работе**

Построить модели коммутаторов на GPSS WORLD при различных законах распределения времени обслуживания заявок и разным числе каналов. Провести процесс моделирования при низкой и высокой загруженности систем, получить результаты, сделать выводы.

### **9.3 Порядок выполнения работы**

9.3.1 Получить задание и вариант работы у преподавателя.

9.3.2 Написать 6 имитационных моделей на GPSS WORLD для следующих систем 1) M/M/2, 2) M/M/3, 3) M/G/2, 4) M/G/3, 5) M/D/2, 6) M/D/3. При написании моделей воспользоваться данными своего варианта из таблицы 9.1.

9.3.3 Отладить программы.

9.3.4 Исследовать все системы при низкой и высокой интенсивности входного потока  $\lambda$ , равной соответственно 0,9 и 2,4 от интенсивности обслуживания  $\mu$ . Результаты моделирования занести в таблицы 9.2-9.4.

9.3.5 Сделать выводы о влиянии типа обслуживания и количества используемых каналов на длину очереди, длительность задержки, время пребывания в системе и загруженность системы.

9.3.6 Подготовить отчет о выполненной работе, где представить модели, результаты моделирования и сделать выводы.

### **9.4 Варианты лабораторной работы.**

Таблица 9.1 – Варианты индивидуальных заданий

Вариант	Модели M/M/2 и M/M/3	Модели M/G/2 и M/G/3	Модели M/D/2 и M/D/3
	Среднее время обслуживания в каждом канале	Закон распределения времени	Время обслуживания $T_0$ в каждом канале

	$T_o$ , мс	обслуживания в каждом канале	$T_o$ , мс
1	2,5	Нормальное распределение с $M=2,5$ мс и $\sigma=0,5$ мс	2,5
2	2,8	Нормальное распределение с $M=2,8$ мс и $\sigma=1,6$ мс	2,8
3	2,9	Нормальное распределение с $M=2,9$ мс и $\sigma=1,3$ мс	2,9
4	2,6	Нормальное распределение с $M=2,6$ мс и $\sigma=0,8$ мс	2,6
5	3,0	Нормальное распределение с $M=3$ мс и $\sigma=0,5$ мс	3,0
6	2,4	Распределение Пуассона со средним значением 2,4	2,4
7	2,2	Распределение Пуассона со средним значением 2,2	2,2
8	3,2	Распределение Пуассона со средним значением 3,2	3,2
9	3,5	Распределение Пуассона со средним значением 3,5	3,5
10	2,7	Распределение Пуассона со средним значением 2,7	2,7

Окончание таблицы 9.1.

11	4,0	Распределение Пуассона со средним значением 4	4,0
12	3,6	Распределение Пуассона со средним значением 3,6	3,6
13	2,0	Распределение Пуассона со средним значением 2,0	2,0



14	3,3	Нормальное распределение с $M=3,3\text{мс}$ и $\sigma=1,2\text{ мс}$	3,3
15	4,3	Нормальное распределение с $M=4,3\text{мс}$ и $\sigma=0,55\text{ мс}$	4,3

Таблица 9.2 –Показатели качества работы коммутаторов типа М/М/Н при различной загрузке

Системы	Интенсивность входного потока, пак/мс	Средняя длина очереди	Среднее время задержки	Среднее время пребывания в системе	Средний коэффициент загрузки коммутатора
М/М/2	$\lambda_1=0,9\ \mu$				
	$\lambda_2=2,4\ \mu$				
М/М/3	$\lambda_1=0,9\ \mu$				
	$\lambda_2=2,4\ \mu$				

Таблица 9.3 –Показатели качества работы коммутаторов типа М/Г/Н при различной загрузке

Системы	Интенсивность входного потока, пак/мс	Средняя длина очереди	Среднее время задержки	Среднее время пребывания в системе	Средний коэффициент загрузки коммутатора
М/Г/2	$\lambda_1=0,9\ \mu$				
	$\lambda_2=2,4\ \mu$				
М/Г/3	$\lambda_1=0,9\ \mu$				
	$\lambda_2=2,4\ \mu$				

Таблица 9.4 –Показатели качества работы коммутаторов типа М/Д/Н при различной загрузке

Системы	Интенсивность входного потока, пак/мс	Средняя длина очереди	Среднее время задержки	Среднее время пребывания в системе	Средний коэффициент загрузки коммутатора
М/Д/2	$\lambda_1=0,9\ \mu$				
	$\lambda_2=2,4\ \mu$				
М/Д/3	$\lambda_1=0,9\ \mu$				
	$\lambda_2=2,4\ \mu$				

## **9.5 Методические указания к выполнению лабораторной работы**

Коммутатор позволяет, в отличие от концентратора, обрабатывать несколько сессий параллельно. Имитационная модель должна включать несколько параллельно работающих одноканальных устройств или многоканальное обслуживающее устройство.

При моделировании локального коммутатора, не имеющего ограничений на длину очереди, следует использовать модель массового обслуживания, которая включает один входящий поток, один или несколько каналов обслуживания и неограниченную очередь. По классификации Д. Кендалла такая система обозначается как G/G/N.

## **9.6 Контрольные вопросы**

1. Как влияет количество используемых каналов на длину очереди?
2. Изменяются ли показатели работы многоканального устройства при изменении закона распределения времени обслуживания?
3. При каком законе распределения времени обслуживания получены лучшие показатели качества работы исследуемого сетевого узла?
4. Каким образом увеличение интенсивности входного потока влияет на среднее время задержки и среднюю длину очереди?
5. Как изменяется коэффициент загрузки МКУ с ростом интенсивности входного потока?

## **10 Лабораторная работа № 10. Моделирование локального коммутатора при наличии конечной и бесконечной очередей**

Цель работы: исследование работы локальных коммутаторов с конечной и бесконечной очередями при низкой и высокой загруженности.

### **10.1 Подготовка к работе**

10.1.1 Изучить работу локального коммутатора с конечной и бесконечной очередями.

10.1.2 Изучить принцип построения имитационных моделей на GPSS WORLD при поступлении на обслуживающее устройство нескольких входящих потоков.

### **10.2 Задание к работе**

Построить модели локальных коммутаторов на GPSS WORLD с конечной и бесконечной очередями. Интенсивность поступления заявок принимать равной 2,4 и 4 от интенсивности обслуживания. Построить модели, обеспечивающие имитацию поступления нескольких входящих потоков.

Провести процесс моделирования, получить результаты, сделать выводы о качестве работы различных систем.

### 10.3 Порядок выполнения работы

10.3.1 Получить задание и вариант работы у преподавателя.

10.3.2 Написать 4 имитационные модели на GPSS WORLD для следующих систем:

- а)  $M/M/N/k$ ;
- б)  $M/M/N/\infty$ ;
- в)  $\vec{M}_2/M/N/k$ ;
- г)  $\vec{M}_2/M/N/\infty$ .

При написании моделей воспользоваться данными своего варианта из таблицы 10.1.

10.3.3 Отладить программы.

10.3.4 Исследовать и сопоставить основные показатели качества работы систем  $M/M/N/k$  и  $M/M/N/\infty$  при низкой и высокой загруженности, равной соответственно 2,4 и 4 от интенсивности обслуживания. Максимальную длину очереди  $k$  и параметры систем принимать в соответствии со своим вариантом (таблица 10.1). Результаты моделирования занести в таблицу 10.2.

10.3.5 Построить графики изменения средней длины очереди от времени обслуживания для систем  $M/M/N/k$  и  $M/M/N/\infty$  при обеих загрузках. Результаты занести в таблицу 10.3.

10.3.6 Сравнить основные показатели качества работы систем  $\vec{M}_2/M/N/k$  и  $\vec{M}_2/M/N/\infty$ . Заполнить таблицу 10.4.

10.3.7 Построить графики изменения среднего времени ожидания в очереди от времени обслуживания для систем  $\vec{M}_2/M/N/k$  и  $\vec{M}_2/M/N/\infty$  при обеих загрузках. Результаты занести в таблицу 10.5.

10.3.8 Подготовить отчет о выполненной работе, где представить модели, результаты моделирования и сделать выводы.

### 10.4 Варианты лабораторной работы

Таблица 10.1 – Варианты индивидуальных заданий

Вариант	N	k	$\mu$	$\lambda_{11}$	$\lambda_{22}$
1	2	20	0,51	0,21	0,30
2	3	25	0,45	0,24	0,15
3	4	39	0,55	0,28	0,22
4	2	30	0,66	0,32	0,10
5	3	40	0,46	0,26	0,12
6	4	45	0,77	0,31	0,25
7	2	37	0,45	0,16	0,23
8	3	50	0,44	0,13	0,30
9	4	32	0,58	0,24	0,30

10	2	44	0,90	0,45	0,33
11	3	52	0,56	0,34	0,12
12	4	38	0,44	0,27	0,11
13	2	46	0,67	0,36	0,20
14	3	22	0,50	0,23	0,22
15	4	28	0,67	0,24	0,16

Таблица 10.2 – Показатели качества работы коммутаторов типа М/М/Н/∞ и М/М/Н/к при различной загруженности

Система	Интенсивность входного потока, пак/мс	Средняя длина очереди	Среднее время задержки	Среднее время пребывания в системе	Средний коэффициент загрузки коммутатора
М/М/Н/∞	$\lambda_1=2,4 \mu$				
	$\lambda_2=4 \mu$				
М/М/Н/к	$\lambda_1=2,4 \mu$				
	$\lambda_2=4 \mu$				

Таблица 10.3 – Зависимость длины очереди от времени обслуживания коммутаторов типа М/М/Н/∞ и М/М/Н/к при различной загруженности

Система	Порядковый номер прогона модели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Время обслуживания $T_0$ , мс										
М/М/Н/∞	Длина очереди при $\lambda=2,4\mu$ , пакетов										
	Длина очереди при $\lambda=4\mu$ , пакетов										
М/М/Н/к	Длина очереди при $\lambda=2,4\mu$ , пакетов										
	Длина очереди при $\lambda=4\mu$ , пакетов										

Таблица 10.4 – Показатели качества работы коммутаторов типа  $\vec{M}_2/M/N/\infty$  и  $\vec{M}_2/M/N/k$

Система	Средняя длина очереди	Среднее время задержки	Среднее время пребывания в системе	Средний коэффициент загрузки коммутатора
$\vec{M}_2/M/N/\infty$				
$\vec{M}_2/M/N/k$				

Таблица 10.5 – Зависимость длины очереди от времени обслуживания коммутаторов типа  $\vec{M}_2/M/N/\infty$  и  $\vec{M}_2/M/N/k$

Система	Порядковый номер прогона модели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Время обслуживания $T_0$ , мс										
$\vec{M}_2/M/N/\infty$	Длина очереди										
$\vec{M}_2/M/N/k$	Длина очереди										

### 10.5 Методические указания к выполнению лабораторной работы

При высокой загрузке локальных коммутаторов могут возникать потери, обусловленные тем, что переполняется буфер памяти сетевой карты. Чтобы использовать для анализа такой телематической системы теорию массового обслуживания, следует ввести ограничение на длину очереди в системе массового обслуживания.

По классификации Д. Кендалла такая система массового обслуживания обозначается как  $G/G/N/k$ , где  $k$  – длина очереди. При неограниченном размере буфера  $k = \infty$ .

При наличии нескольких входящих потоков заявок система обозначается как  $\vec{G}_n/G/N/k$ .

Стрелка над символом соответствует многомерному случаю. Например, символ  $\vec{M}_n$  в первом разряде соответствует обслуживанию  $n$  простейших потоков вызовов с различными параметрами.

При написании моделей  $M/M/N/k$  и  $M/M/N/\infty$  параметры систем берутся из таблицы 10.1, в которой приняты следующие обозначения:

- $N$  – число каналов обслуживания;
- $k$  – длина очереди;
- $\mu$  – интенсивность обслуживания.

Интенсивность входного потока принимать равной  $0,2 \mu$  и  $0,4 \mu$ .

В моделях  $\vec{M}_2/M/N/k$  и  $\vec{M}_2/M/N/\infty$  интенсивность входного потока  $\lambda$  определяется по формуле^

$$\lambda = \lambda_{11} + \lambda_{22},$$

где  $\lambda_{11}$  – интенсивность 1-го входного потока;

$\lambda_{22}$  – интенсивность 2-го входного потока.

Все потоки простейшие. Интенсивности потоков заданы в таблице 10.1.

### 10.6 Контрольные вопросы

1. Какая СМО описывается в символике Кендалла как  $\vec{M}_2/M/N/?$
2. Какое свойство простейшего входного потока вызовов используется при построении моделей СМО типа  $\vec{M}_2/M/N/k$ ?
3. Наблюдается ли отличие средней длины очереди при низкой и высокой загрузенностях СМО?
4. Как влияет изменение количества каналов на работу системы с ограниченной очередью?
5. Поясните различие показателей качества работы в системах с ограниченной и неограниченной очередями.

## Список литературы

1. Советов Б. Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учебник для академического бакалавриата. 7-е изд. – М.: Издательство Юрайт. – 2012, 343 с. [https://urss.ru/PDF/add\\_ru/189946-1.pdf](https://urss.ru/PDF/add_ru/189946-1.pdf)
2. Советов Б. Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. Практикум: учебное пособие для бакалавров, 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт. 2019, 295 с. <https://urait.ru/bcode/425258>
3. Сосновиков Г.К., Воробейчиков Л.А. Компьютерное моделирование. Практикум по имитационному моделированию в среде GPSS World. – М.: Издательство Форум. – 2018.
4. Васильев К.К., Служивый М.Н. Математическое моделирование инфокоммуникационных систем. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018.
5. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Моделирование информационных систем. – М.: Радиотехника, 2016.
6. Карташевский В.Г. Основы теории массового обслуживания. – М.: «Горячая линия-Телеком», 2015.
7. Моделирование систем телекоммуникаций. Конспект лекций / Туманбаева К.Х., Лещинская Э.М. – Алматы, АУЭС, 2021.
8. Моделирование систем телекоммуникаций. Методические указания к выполнению курсовой работы / Туманбаева К.Х., Лещинская Э.М. – Алматы, АУЭС, 2016.
9. Лещинская Э.М., Туманбаева К.Х. Моделирование в телекоммуникациях. Применение пакета STATISTICA при моделировании телекоммуникационных систем. Учебное пособие. – Алматы, АУЭС, 2018.

## Содержание

	Введение.....	3
1	Лабораторная работа № 1 .....	4
2	Лабораторная работа № 2 .....	6
3	Лабораторная работа № 3 .....	12
4	Лабораторная работа № 4 .....	16
5	Лабораторная работа № 5 .....	24
6	Лабораторная работа № 6 .....	32
7	Лабораторная работа № 7 .....	37
8	Лабораторная работа № 8 .....	43
9	Лабораторная работа № 9 .....	47
10	Лабораторная работа № 10 .....	50
	Список литературы .....	55



Кумысай Хасеновна Туманбаева  
Элеонора Мироновна Лещинская

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности  
5В071900 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Редактор  
Специалист по стандартизации

Жанабаева Е.Б.  
Ануарбек Ж.А.

Подписано в печать \_\_\_\_\_.\_\_\_\_.2022  
Тираж 50 экз.  
Объем 4.0 уч.-изд. л.

Формат 60×84 1/16  
Бумага типографская № 1  
Заказ \_\_\_\_ Цена 2000 тг.

Копировально-множительное бюро  
некоммерческого акционерного общества  
«Алматинский университет энергетики и связи  
имени Гумарбека Даукеева»  
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126/1