

**Санкт-Петербургский государственный  
университет телекоммуникаций**

**Имитационное  
моделирование  
в проектировании и  
технологии изготовления  
электронных средств**

**Профессор кафедры КПРС  
доктор военных наук, профессор В.Д. Боев**

**Санкт-Петербургский государственный  
университет телекоммуникаций**

**Практическое занятие**  
**Разработка имитационной  
модели и планирование  
эксперимента**

**Профессор кафедры № 31  
доктор военных наук, профессор В.Д. Боев**

# Учебные цели занятия

## Научить:

- разрабатывать алгоритм имитационной модели
- и планировать эксперимент с имитационной моделью.

# Учебные вопросы занятия

- 1. Постановка задачи.**
- 2. Разработка алгоритма модели.**
- 3. Планирование эксперимента.**

# Литература

- **Боев В. Д., Сыпченко Р. П.  
Компьютерное моделирование: Учеб.  
пособие. Часть 1 — СПб.: ВАС, 2013. —  
164 с.**

# 1. Постановка задачи

На пункте управления создана локальная вычислительная сеть (ЛВС), состоящая из автоматизированных рабочих мест (АРМ) и сервера.

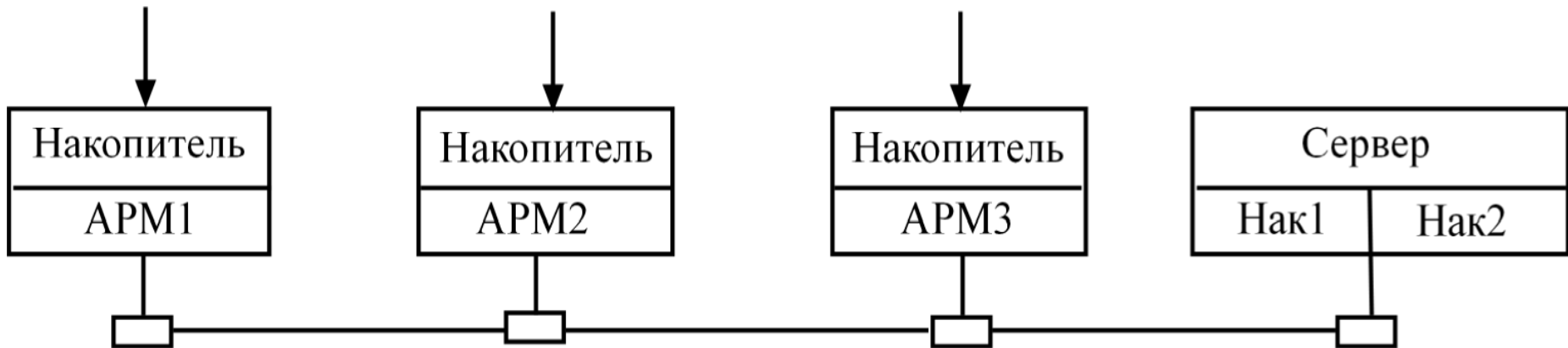
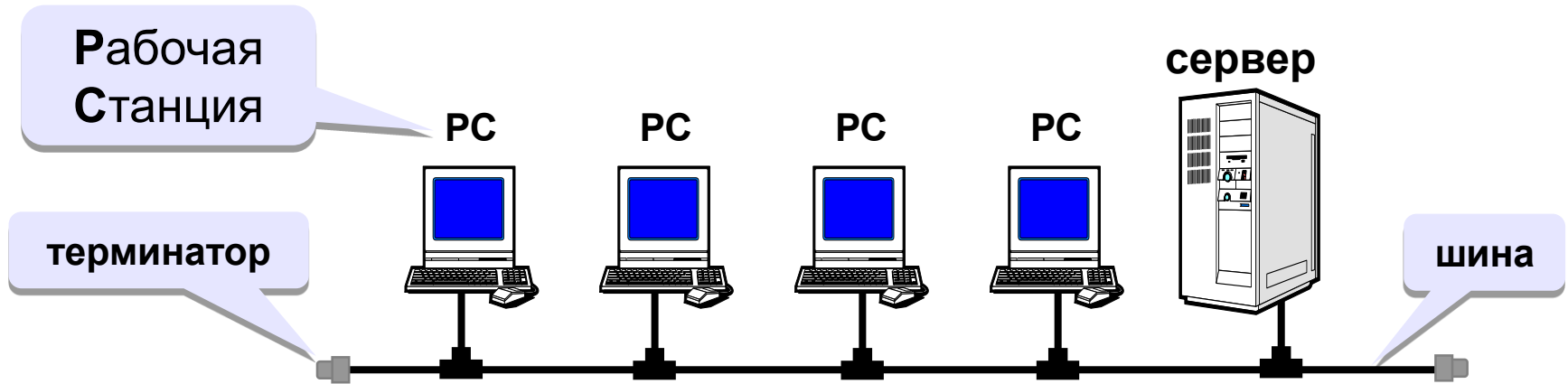


Рис. 1. Локальная вычислительная сеть

# Схема «общая шина»



- ⊕
  - ✓ простота, малый расход кабеля;
  - ✓ легко подключать рабочие станции;
  - ✓ при выходе из строя PC сеть работает.
- ⊖
  - при разрыве шины сеть выходит из строя;
  - один канал связи, передача по очереди;
  - конфликты (одновременная передача данных);
  - сложно искать неисправности (непонятно, кто "завесил" сеть);
  - длина шины ограничена (затухание сигнала).

# 1. Постановка задачи



Сервер обрабатывает запросы, поступающие с АРМ с интервалами, распределенными по экспоненциальному закону со средним значением  $T_1 = 2 \text{ мин}$ . Вычислительная сложность запросов распределена по нормальному закону с математическим ожиданием  $S_1 = 6 \cdot 10^7 \text{ оп}$  и среднеквадратическим отклонением  $S_2 = 5 \cdot 10^2 \text{ оп}$ . Производительность сервера по обработке запросов  $Q = 5 \cdot 10^5 \text{ оп/сек}$ .



# 1. Постановка задачи



Разработать алгоритм имитационной модели с целью определения вероятности обработки запросов за время  **$T=1$  час**.

**Построить план эксперимента** для исследования:

- зависимости вероятности обработки запросов от интервалов их поступления,
- вычислительной сложности,
- производительности сервера.

**Результаты моделирования** получить с точностью  **$\epsilon=0,01$**  и доверительной вероятностью  **$\alpha=0,95$** .

# 1. Постановка задачи

## *Уяснение задачи*

- ЛВС, имитационную модель функционирования которой по обработке запросов предстоит разработать, представляет собой **однофазную одноканальную систему массового обслуживания с отказами абсолютной надёжности**.
- Поэтому можно применить типовой алгоритм имитационной модели с продвижением времени по событиям.

## 2. Разработка алгоритма модели

Для построения алгоритма ИМ введем следующие идентификаторы:

$t1$  — текущее МВ поступления запроса;

$t2$  — интервал поступления запросов;

$t3$  — текущее МВ окончания обработки запроса;

$t4$  — модельное время обработки запроса;

$k$  — счётчик количества прогонов модели (реализаций);

## 2. Разработка алгоритма модели

12

$P$  — вероятность обработки запросов;

$M$  — счетчик количества обработанных запросов;

$N$  — заданное количество прогонов модели (реализаций);

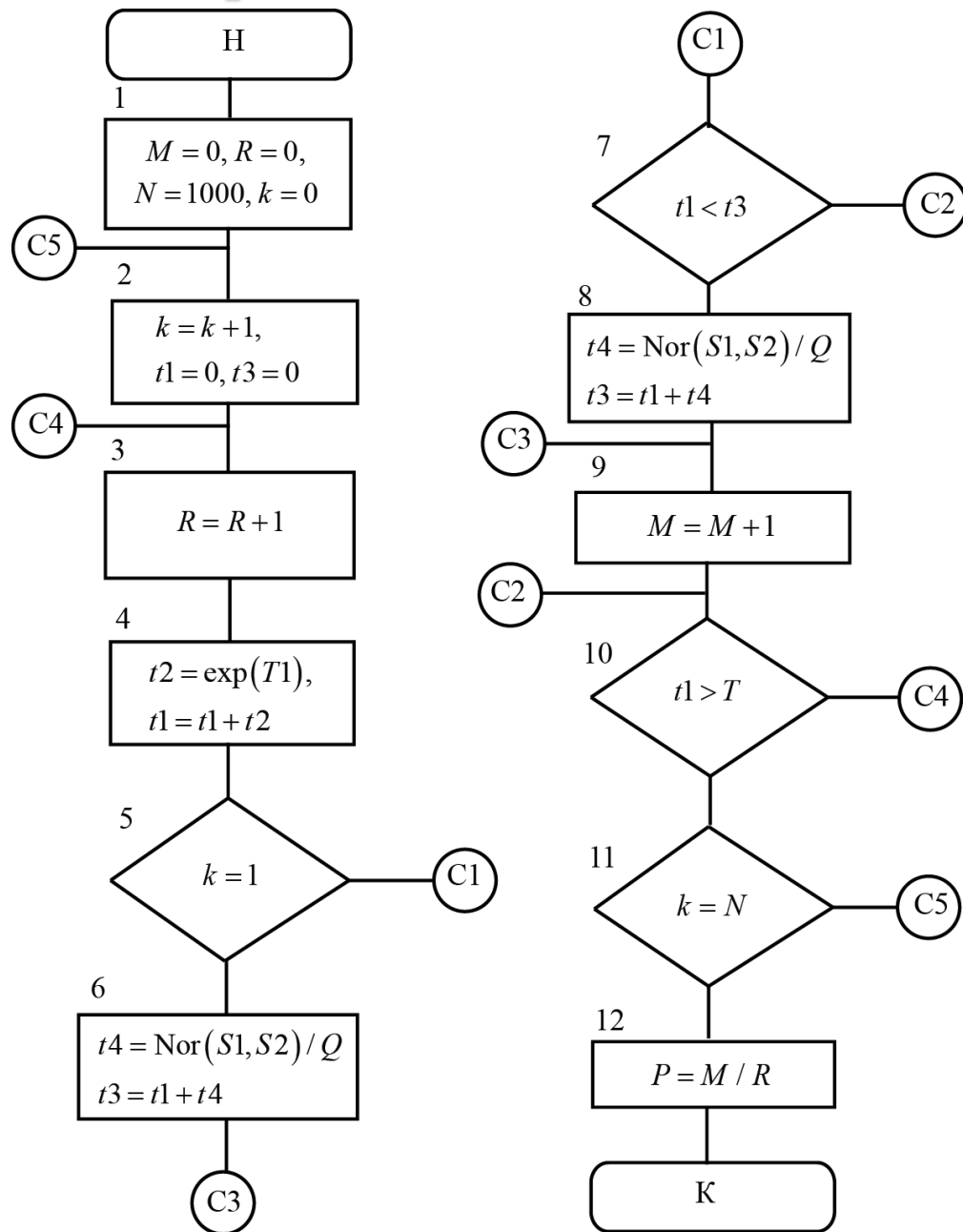
$R$  — количество запросов за  $N$  прогонов модели;

$T$  — время моделирования.

## 2. Разработка алгоритма модели

13

Схема алгоритма модели представлена на рис. 2.



## 2. Разработка алгоритма модели

Рассмотрим работу алгоритма.

1. Обнуляются переменные:

$M = 0$  — счётчик количества обработанных запросов за одно наблюдение;

$k = 0$  — счётчик текущего количества прогонов модели в одном наблюдении;

$R = 0$  — счётчик количества запросов за прогонов модели (в одном наблюдении).

Устанавливаются:

$N = 1000$  — количество прогонов модели (реализаций);

$T = 3600$  — время моделирования.

## 2. Разработка алгоритма модели

15

2. Обнуляются переменные:

$t1 = 0$  — текущее МВ поступления запросов;

$t3 = 0$  — текущее МВ окончания обработки  
запроса;

Увеличивается на 1:

$k = k + 1$  — значение счётчика количества  
прогонов модели.

## 2. Разработка алгоритма модели

16

3. Увеличивается на 1:

$R = R + 1$  — значение счётчика поступивших запросов за одно наблюдение ( $N$  прогонов);

4. Разыгрывается интервал времени поступления запроса:

$$t2 = \exp(T1);$$

Увеличивается текущее модельное время:

$$t1 = t1 + t2;$$



## 2. Разработка алгоритма модели

5. Осуществляется проверка: если выполняется первый прогон модели, то есть  $k = 1$ , то управление передаётся блоку 6.

6. Разыгрывается время обработки запроса:

$$t4 = [\text{Normal}(S1, S2)] / Q;$$

Определяется МВ окончания обработки запроса – освобождения сервера:

$$t3 = t1 + t4;$$

Управление передаётся блоку 9.

## 2. Разработка алгоритма модели

9. Увеличивается на 1 значение счётчика количества обработанных запросов:

$$M = M + 1.$$

10. Проверяется: текущее  $MV$  больше заданного времени моделирования :

$$t1 > T?$$

Если условие выполняется, а оно не выполнится, так как обрабатывается только первый запрос, то управление передаётся блоку 3.

## 2. Разработка алгоритма модели

3. Увеличивается на 1:

$R = R + 1$  — значение счётчика поступивших запросов за одно наблюдение (  $N$  прогонов);

4. Разыгрывается интервал времени поступления запроса:

$$t2 = \exp(T1);$$

Увеличивается текущее модельное время:

$$t1 = t1 + t2.$$

Оно становится равным времени ввода в модель очередного запроса.

## 2. Разработка алгоритма модели

5. Проверка: если выполняется первый прогон модели, то есть  $k = 1$ , то управление передаётся блоку 6.

Так как выполняется не первый прогон, управление передаётся блоку 7.

7. Проверяется: текущее МВ меньше времени окончания обработки запроса, то есть  $t1 < t3?$

Если меньше, то есть сервер занят, то запрос теряется. Управление передаётся блоку 10.

Если не меньше, то есть сервер свободен, то управление передаётся блоку 8.

## 2. Разработка алгоритма модели 21

8. Разыгрывается время обработки запроса:

$$t4 = [\text{Normal}(S1, S2)] / Q;$$

Определяется МВ окончания обработки запроса – освобождения сервера:

$$t3 = t1 + t4;$$

Управление передаётся блоку 9.

9. Увеличивается на 1 значение счётчика количества обработанных запросов:

$$M = M + 1$$

## 2. Разработка алгоритма модели

10. Проверяется: текущее МВ больше заданного времени моделирования :

$$t1 > T?$$

Если условие выполняется, то управление передаётся блоку 11. В противном случае – блоку 3.

## 2. Разработка алгоритма модели

11. Проверяется: выполнено ли заданное количество прогонов, то есть

$$k = N?$$

Если условие не выполняется, то управление передаётся блоку 2. Моделирование продолжается.

В противном случае управление передаётся блоку 12.

12. Расчёт оценки вероятности обработки запросов сервером:

$$P = M / R.$$

Работа алгоритма заканчивается.

# 3. Планирование эксперимента

Выберем интервалы варьирования уровней факторов.

$T_1 = 120 \pm 60$  с — средний интервал поступления запросов (математическое ожидание).

В системах имитационного моделирования иногда для изменения математического ожидания и среднеквадратического отклонения целесообразно ввести коэффициент, принимающий два значения, например,  $h_1 = 0,5$  и  $h_2 = 1,5$ .

Тогда:  $S_1 = 6 \cdot 10^7 \pm 3 \cdot 10^7$  оп,  $S_2 = 2 \cdot 10^5 \pm 1 \cdot 10^5$  оп,  
 $Q = 5 \cdot 10^5 \pm 2 \cdot 10^5$  оп/с.



# 3. Планирование эксперимента

В соответствии с интервалами варьирования представим уровни факторов таблицей (табл. 1). В табл. 1 индексы **н** и **в** — нижний и верхний уровни факторов соответственно.

Таблица 1

$T_1$		$S_1 / S_2$		$Q$	
$T_{1Н}$	$T_{1В}$	$(S_1 / S_2)_Н$	$(S_1 / S_2)_В$	$Q_Н$	$Q_В$
60	180	$3 \cdot 10^7 / 1 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^7 / 3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$
-1	+1	-1	+1	-1	+1

# 3. Планирование эксперимента

План полного факторного эксперимента

Таблица 2

№	$T_1$	$S_1 / S_2$	$Q$	Y
1	2	3	4	5
1	-1	-1	-1	
2	-1	-1	+1	
3	-1	+1	-1	
4	-1	+1	+1	
5	+1	-1	-1	
6	+1	-1	+1	
7	+1	+1	-1	
8	+1	+1	+1	

### 3. Планирование эксперимента

Проведём эксперимент.

Выполним первое наблюдение при  $N_0 = 1000$  прогонов модели. Получим вероятность обработки запросов  $P_0 = 0,375$ .

Заданная точность  $\varepsilon = 0,01$  и доверительная вероятность  $\alpha = 0,95$ . По таблице значений функции Лапласа найдём её аргумент  $t_\alpha = 1,96$ .

Рассчитаем требуемое количество прогонов модели:

$$N = t_\alpha^2 \frac{P_0(1-P_0)}{\varepsilon^2} = 1,96^2 \cdot \frac{0,375(1-0,375)}{0,01^2} = 3,8416 \cdot \frac{0,375 \cdot 0,625}{0,01^2} = 9003.$$

### 3. Планирование эксперимента

При расчете числа прогонов для «худшего случая» получим:

$$N = t_{\alpha}^2 \frac{0,5 \cdot 0,5}{\varepsilon^2} = 1,96^2 \cdot \frac{0,25}{0,01^2} = 3,8416 \cdot \frac{0,25}{0,01^2} = 9604.$$

Продолжим проведение эксперимента при  $N = 9600$  прогонов модели в каждом наблюдении. Получим:

# 3. Планирование эксперимента

Результаты эксперимента при  $N=9600$ .

№	$T_1$	$S_1 / S_2$	$Q$	Y
1	2	3	4	5
1	-1	-1	-1	0,375
2	-1	-1	+1	0,583
3	-1	+1	-1	0,167
4	-1	+1	+1	0,319
5	+1	-1	-1	0,642
6	+1	-1	+1	0,808
7	+1	+1	-1	0,375
8	+1	+1	+1	0,583

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ