

# «Моделирование»

**Лектор:**        **АЛИЕВ Тауфик Измайлович,**  
*доктор технических наук, профессор*

---

**Национальный исследовательский университет ИТМО  
(НИУ ИТМО)**

*Факультет программной инженерии и компьютерной техники*

# 3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

1. Диаграммы функционирования одноканальной СМО
2. Методы формирования псевдослучайных величин
3. Сравнение методов формирования псевдослучайных величин с заданным законом распределения
4. Введение в GPSS
5. Классификация объектов GPSS
6. Операторы и структура GPSS-моделей
7. Процесс моделирования
8. Транзакты и модельное время
9. Завершение моделирования и списки
10. Простейшая GPSS-модель СМО D/U/1
11. Основные операторы блоков GPSS World
12. Стандартный отчет GPSS-модели СМО D/U/1
13. Операторы блоков GPSS World
14. GPSS-модель СМО M/U/5
15. GPSS-модель СМО с накопителем ограниченной емкости
16. GPSS-модель с гистограммой времени ожидания
17. GPSS-модель с произвольной гистограммой
18. Системные числовые атрибуты (СЧА / SNA)
19. GPSS-модель с обслуживанием по Эрлангу
20. Реализация гиперэкспоненциального распределения

## Литература

для самостоятельной подготовки

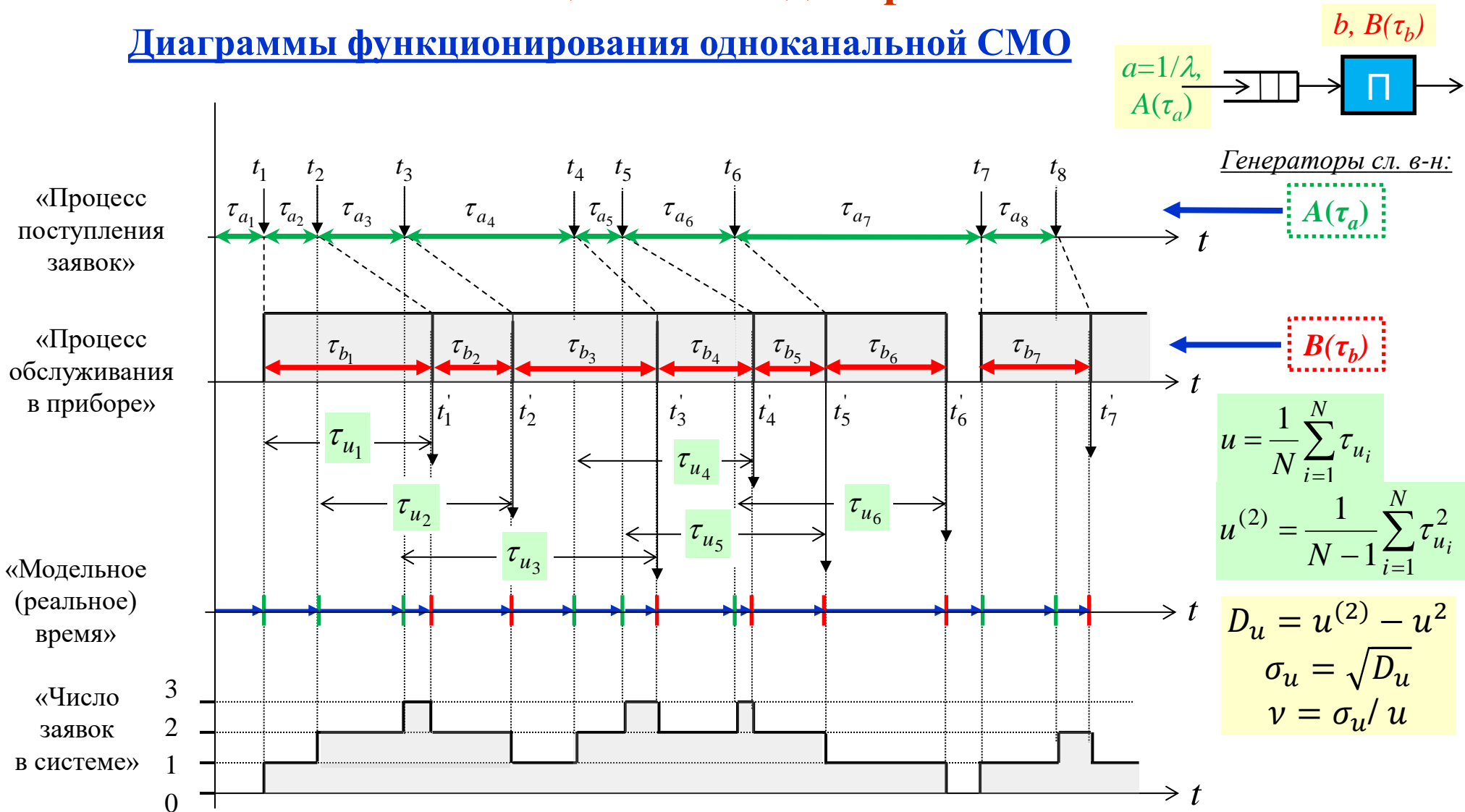
1. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.

(Раздел 6 «Имитационное моделирование»)

[https://books.ifmo.ru/book/445/osnovy\\_modelirovaniya\\_diskretnyh\\_sistem.htm](https://books.ifmo.ru/book/445/osnovy_modelirovaniya_diskretnyh_sistem.htm)

### 3. Имитационное моделирование

#### Диаграммы функционирования одноканальной СМО



### 3. Имитационное моделирование

## Методы формирования псевдослучайных величин

#### 1. Равномерно распределённых в интервале (0; 1):

- a) метод квадратов;
- b) метод произведений;
- c) конгруэнтные методы;
- d) модификации перечисленных методов.

#### a) метод квадратов

Исх.число	Квадрат	Сл. число
7153	51 <b>1654</b> 09	0,1654
1654	02 <b>7357</b> 16	0,7357
7357	54 <b>1254</b> 49	0,1254
1254	01 <b>5725</b> 16	0,5725
5725	32 <b>7756</b> 25	0,7756
7756	60 <b>1555</b> 36	0,1555
Исх.число	Квадрат	Сл. число
1357	01 <b>8414</b> 49	0,8414
8414	70 <b>7953</b> 96	0,7953
7953	63 <b>2502</b> 09	0,2502
2502	06 <b>2600</b> 04	0,2600
2600	06 <b>7600</b> 00	0,7600
7600	57 <b>7600</b> 00	0,7600

#### б) метод произведений

Ядро (множитель) = 5167

Множимое	Произведение	Сл. число
3729	19 <b>2677</b> 43	0,2677
7743	40 0080 81	0,0080
8081	41 7545 27	0,7545
4527	23 3910 09	0,3910
1009	05 2135 03	0,2135
3501	....	...

Длина периода генератора  
случайных величин

### 3. Имитационное моделирование

## Методы формирования псевдослучайных величин

#### 1. Равномерно распределённых в интервале (0; 1):

- а) метод квадратов;
- б) метод произведений;
- с) **конгруэнтные методы;**
- д) модификации перечисленных методов.

#### Смешанный конгруэнтный метод:

$$X_{i+1} = \lambda X_i + \mu \pmod{m} \quad (i = 0, 1, 2, \dots)$$

$\lambda$  – множитель;  $\mu$  – аддитивная константа;  $m$  – модуль

#### Мультипликативный конгруэнтный метод ( $\mu = 0$ ):

**Множитель = 1357; модуль (делитель) = 5689**

Исх. число	Произведение	Частное, (целая часть)	Остаток	Сл. Число (дробн. часть)
1357	1 8414 49	323	3902	0,6859
3902	5 2950 14	930	4244	0,7460
4244	5 7591 08	1012	1840	0,3234
1840	...	...	...	...

Сл.число=Остаток/модуль

Проверка генераторов равномерно распределённых псевдослучайных величин на ...

периодичность  
(длина периода)

равномерность

случайность

частот

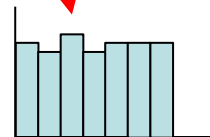
пар

комбинаций

серий

корреляции

Тесты



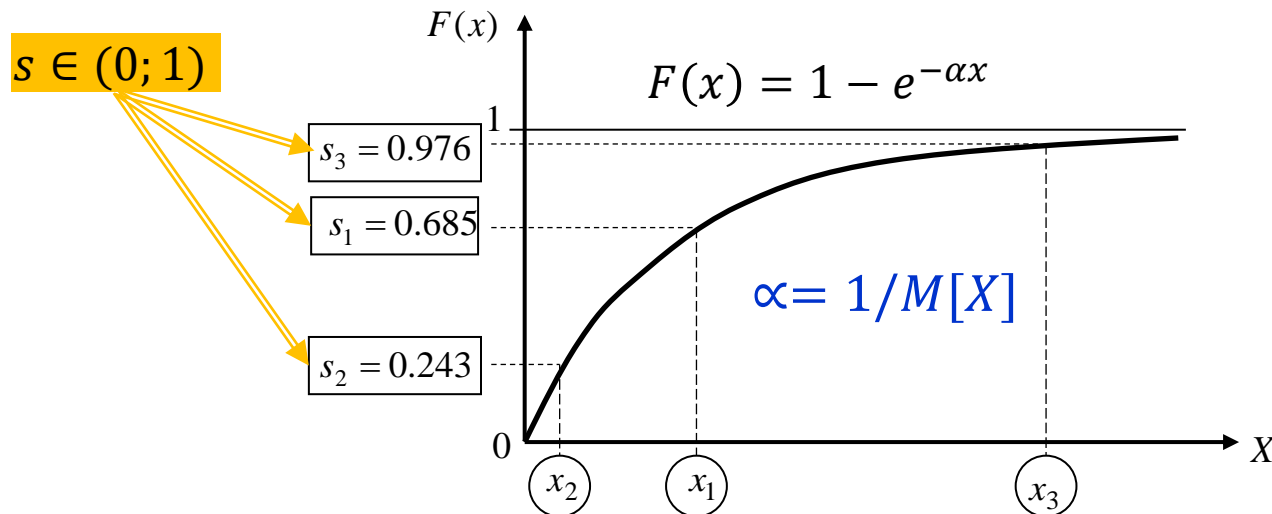
	4	6	4	5	5	3	5	4
6	1	1	1	1	0	0	1	1
4	0	1	1	0	1	0	1	0
5	1	0	1	1	1	1	0	0
4	0	1	0	1	0	0	1	1
5	1	1	0	0	1	1	0	1
3	0	0	1	0	1	1	0	0
4	0	1	0	1	1	0	1	0
5	1	1	0	1	0	0	1	1

### 3. Имитационное моделирование

## Методы формирования псевдослучайных величин

### 2. С заданным законом распределения:

#### а) аналитический метод



$$F(x) = 1 - e^{-\alpha x} = s$$

$$s = 1 - e^{-\alpha x}$$

$$e^{-\alpha x} = 1 - s$$

$$-\alpha x = \ln(1 - s)$$

$$x = -\frac{1}{\alpha} \ln(1 - s)$$

$$x = -\frac{1}{\alpha} \ln s$$

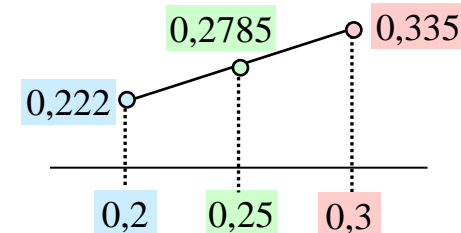
#### б) табличный метод

$F(x)$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.84	0.88
$x$	0	0.104	0.222	0.335	0.509	0.69	0.915	1.2	1.38	1.6	1.83	2.12

$F(x)$	0.9	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999	0.9997
$x$	2.3	2.52	2.81	2.99	3.2	3.5	3.9	4.6	5.3	6.2	7	8

#### Линейная интерполяция



#### с) метод композиций

- **распределение Эрланга** – сумма нескольких экспоненциальных величин с одинаковым матожиданием (гипоэкспоненциальное распределение - с разными матожиданиями);
- **гиперэкспоненциальное распределение** – вероятностная смесь экспоненциальных величин с разными матожиданиями.

### 3. Имитационное моделирование

## Сравнение методов формирования псевдослучайных величин с заданным законом распределения

#### Аналитический метод

##### Достоинства:

- высокая точность метода;
- не требуется память для хранения многочисленных таблиц.

##### Недостатки:

- конечная формула может содержать функции (логарифмы и т.п.), что значительно увеличивает затраты времени;
- невозможность получения конечной формулы в явном виде для многих законов распределений;
- использование же численных методов для вычисления интегралов приводит к погрешностям и затратам времени.

#### Табличный метод

##### Достоинства:

- возможность построения таблиц для любых законов распределения;
- возможность обеспечения заданной точности формирования случайных чисел за счет уменьшения шага табуляции;
- простые вычисления (линейная интерполяция) и, как следствие, небольшое время формирования случайных величин.

##### Недостатки:

- значительные затраты памяти для хранения большого числа таблиц с разными законами распределений;
- наличие методической погрешности, обусловленной применением линейной интерполяции;
- уменьшение методической погрешности формирования случайных последовательностей может быть достигнуто за счет увеличения количество точек табуляции, что приводит к дополнительным затратам памяти и времени;
- для обеспечения высокой точности формирования случайных последовательностей табулирование должно выполняться с переменным шагом, выбор которого связан с определёнными проблемами.

### 3. Имитационное моделирование

## Введение в GPSS

«Если эксперимент удался, что-то здесь не так...» (*Первый закон Финэйгла*)

#### Типовые процедуры имитационного моделирования систем с очередями:

- 1) выработка (генерирование) случайных величин *равномерно* распределенных и с заданным законом распределения;
- 2) формирование *потоков* заявок и имитация обслуживания;
- 3) организация *очереди* заявок;
- 4) организация службы времени;
- 5) сбор и статистическая *обработка результатов* моделирования.

#### Система имитационного моделирования (СИМ) GPSS World:

- GPSS
- PLUS
- компилятор

#### Объекты СИМ GPSS World:

1. *GPSS-модель*
2. *Процесс моделирования*
3. *Отчёт*
4. *Текстовый объект*

#### Элементы GPSS

##### Алфавитно-цифровые символы (АЦС): буквы от А до Z и цифры от 0 до 9

Имя (1-200)

Метка

Переменная

Числа

Целые (32p)

Вещественные (64p)  
(порядок от -308 до +308)

Строковые

СЧА

##### Операторы

арифметические:

$\wedge$  # / \ @ + -

логические:

& или AND ; | или OR

отношения: > G; >= GE;  
= E; < L; <= LE; != NE

##### Выражения

##### Процедуры:

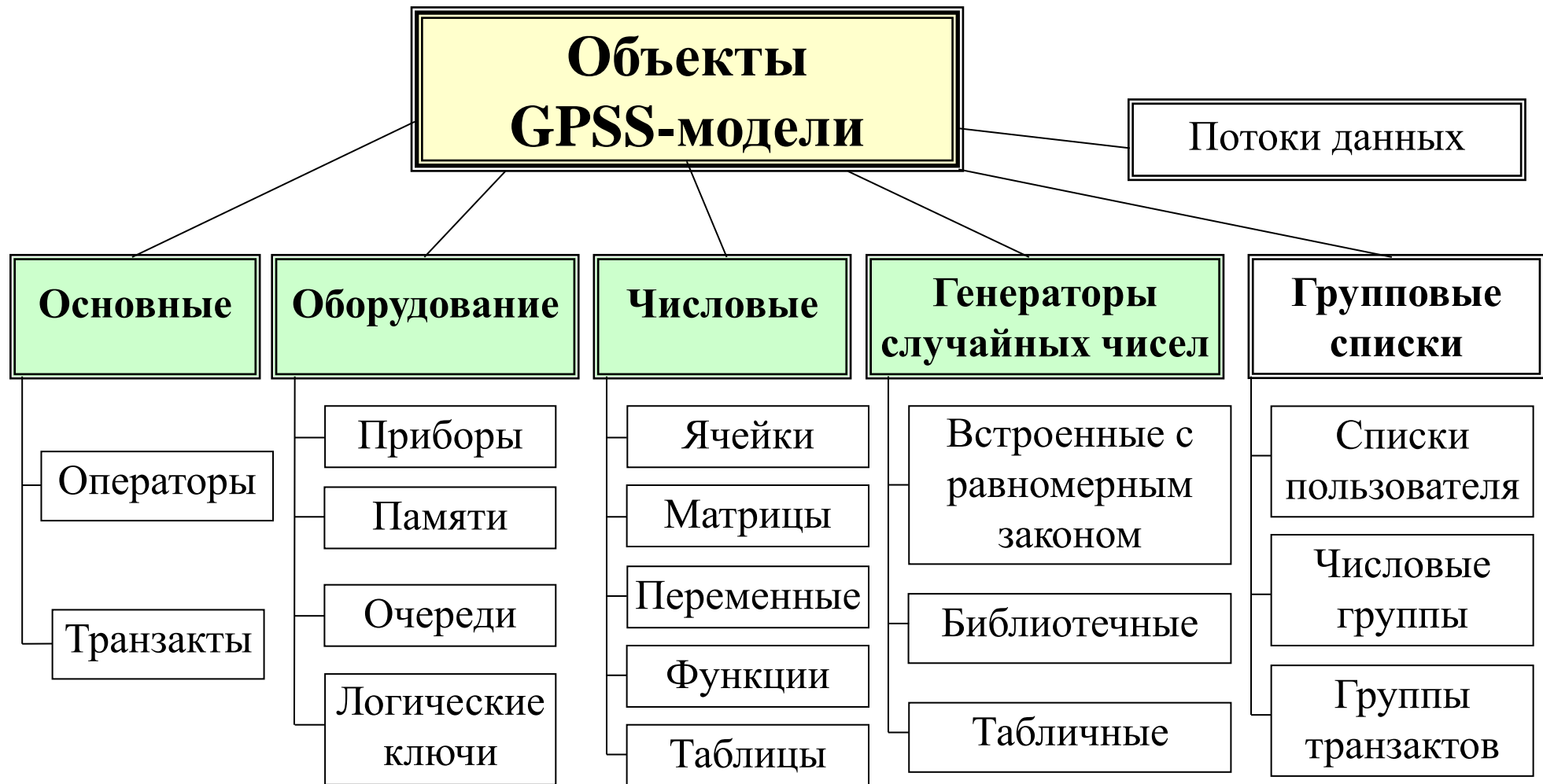
- стандартные (ABS, EXP, LOG, SQR, SIN, ...)
- пользовательские

pribor mag1  
sys\_tem s1d2f4



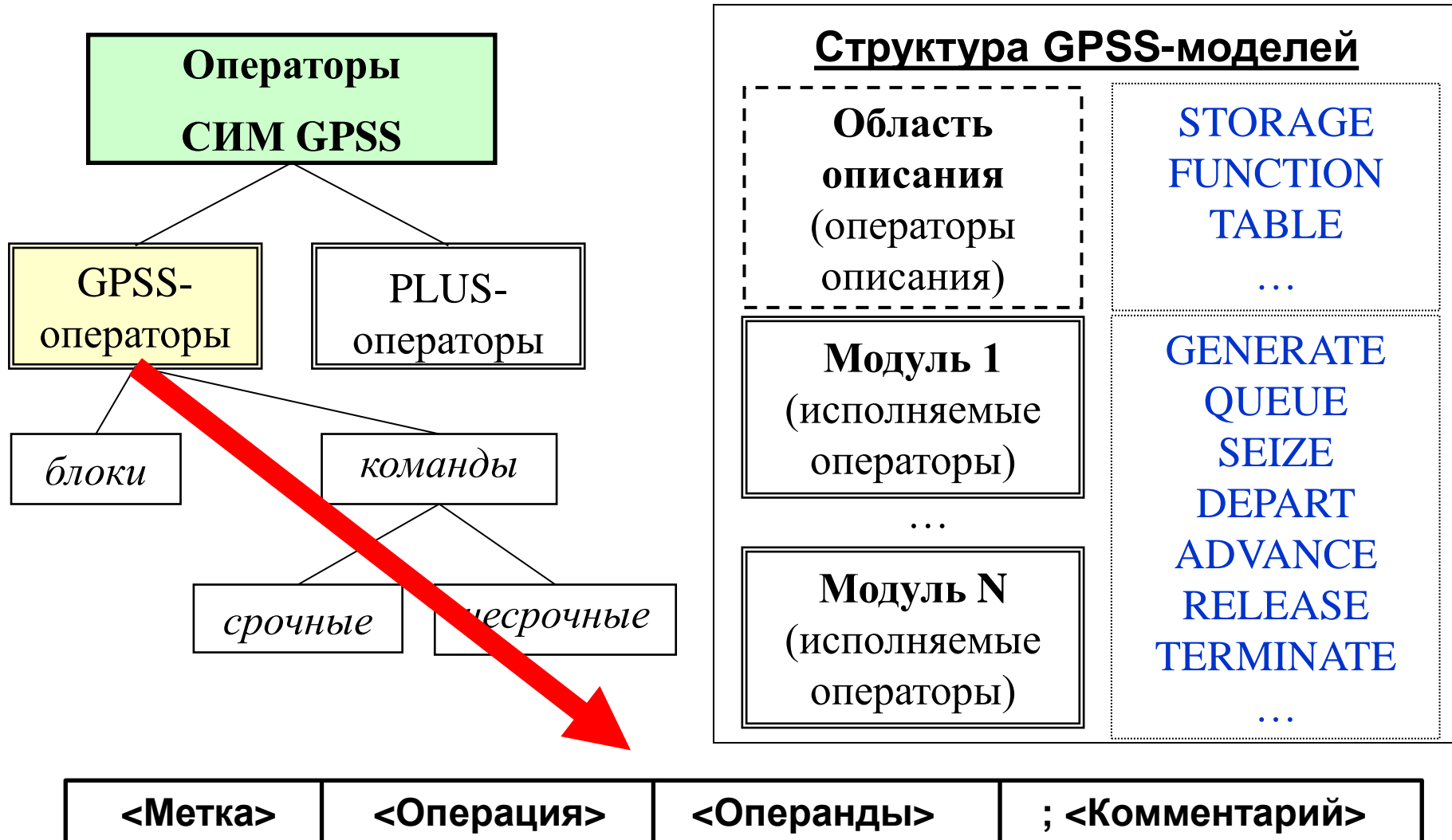
### 3. Имитационное моделирование

## Классификация объектов GPSS



### 3. Имитационное моделирование

## Операторы и структура GPSS-моделей

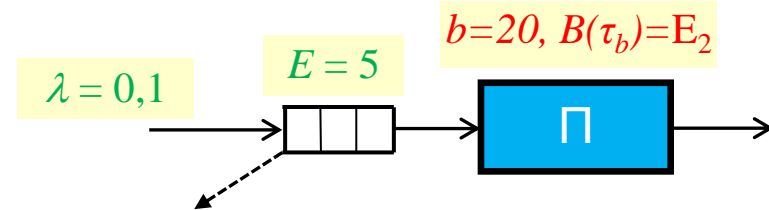


### 3. Имитационное моделирование

#### Процесс моделирования

##### Процесс моделирования в среде GPSS World:

1. Запуск процесса моделирования (**Command / Create Simulation; START**)
2. Транзакты (**GENERATE** и **TERMINATE**)
3. Модельное время
4. Завершение моделирования (**HALT; STOP; С43**)
5. Списки: **список текущих событий (СТС); список будущих событий (СБС); ...**
6. Системные числовые атрибуты (СЧА): *СЧА объектов; СЧА системы; СЧА транзактов*
7. Встроенные вероятностные распределения



GPSS World - MM1E\_потери.66.1 - REPORT

File Edit Search View Command Window Help

MM1E\_потери.66.1 - REPORT

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STOR
0.000	10012660.598	9	1	0

NAME	VALUE
OTKAZ_1	9.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT
	1	GENERATE	1000006	0
	2	TEST	1000006	0
	3	QUEUE	499627	5
	4	SEIZE	499622	0

For Help, press F1 Report is Complete. Clock

### 3. Имитационное моделирование

## Транзакты и модельное время

TM=40

#### Процесс моделирования в среде GPSS World:

1. Запуск процесса моделирования (**Command / Create Simulation; START**)
2. Транзакты (**GENERATE** и **TERMINATE**)
3. Модельное время
4. Завершение моделирования (**HALT; STOP; Сч3**)
5. Списки: **список текущих событий (СТС); список будущих событий (СБС); ...**
6. Системные числовые атрибуты (СЧА): СЧА *объектов*; СЧА *системы*; СЧА *транзактов*
7. Встроенные вероятностные распределения

T3

GENERATE

$t3=50$

SEIZE (ENTER)

<условие>

ADVANCE

<время=40>

TRANSFER (TEST, SELECT)

T4

GENERATE

$t4=56$

TERMINATE

START

### 3. Имитационное моделирование

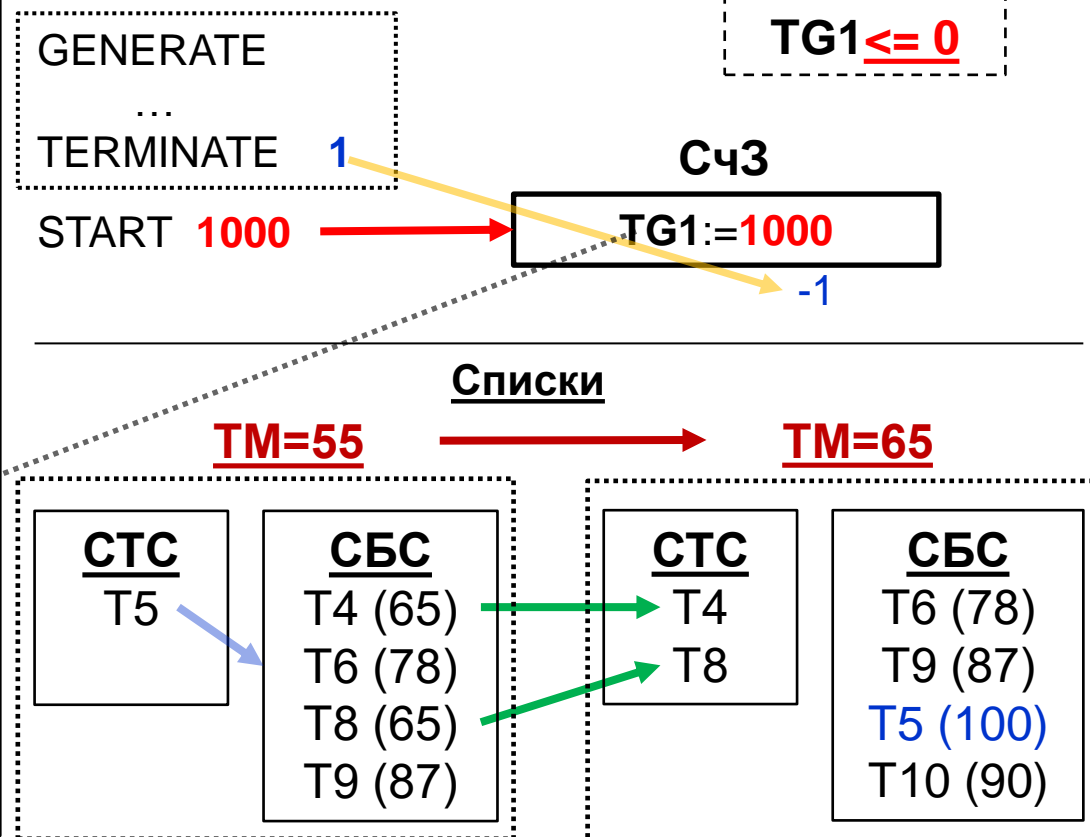
#### Завершение моделирования и списки

##### Процесс моделирования в среде GPSS World:

1. Запуск процесса моделирования (**Command / Create Simulation; START**)
2. Транзакты (**GENERATE** и **TERMINATE**)
3. Модельное время
4. Завершение моделирования (**HALT; STOP; СчЗ**)
5. Списки: **список текущих событий (СТС); будущих событий (СБС); повторных попыток (СПП) ...**
6. Системные числовые атрибуты (СЧА): СЧА *объектов*; СЧА *системы*; СЧА *транзактов*
7. Встроенные вероятностные распределения

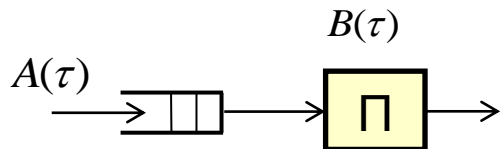
##### Завершение процесса моделирования:

- принудительно (**HALT**);
- по заданному условию (**STOP**);
- по счетчику завершений (СчЗ):



### 3. Имитационное моделирование

#### Простейшая GPSS-модель СМО D/U/1



- количество обслуживающих приборов: 1;
- количество потоков (классов) заявок: 1;
- ёмкость накопителя: *не ограничена* (равна бесконечности);
- интервалы между заявками в потоке: 10 с (*детерминированный*);
- длительность обслуживания заявок:  $8 \pm 4$  с (*равномерный*).

\*\*\*\*\*

GENERATE	10;	<i>формирование детерминированного потока заявок</i>
QUEUE	1;	<i>отметка момента поступления заявки в очередь 1</i>
SEIZE	uzel;	<i>занятия прибора с именем uzel</i>
DEPART	1;	<i>отметка момента покидания заявкой очереди 1</i>
ADVANCE	8,4;	<i>задержка на время <math>8 \pm 4</math> единицы времени</i>
RELEASE	uzel;	<i>освобождение прибора с именем uzel</i>
TERMINATE	1;	<i>удаление заявки из модели</i>

\*\*\*\*\*

START                    100000

\*\*\*\*\*

### 3. Имитационное моделирование

#### Основные операторы блоков GPSS World

\*\*\*\*\*

<b>GENERATE</b>	<b>10;</b>	<i>формирование детерминированного потока заявок</i>
<b>QUEUE</b>	<b>1;</b>	<i>отметка момента поступления заявки в очередь 1</i>
<b>SEIZE</b>	<b>uzel;</b>	<i>занятия прибора с именем uzel</i>
<b>DEPART</b>	<b>1;</b>	<i>отметка момента покидания заявкой очереди 1</i>
<b>ADVANCE</b>	<b>8,4;</b>	<i>задержка на время <math>8 \pm 4</math> единицы времени</i>
<b>RELEASE</b>	<b>uzel;</b>	<i>освобождение прибора с именем uzel</i>
<b>TERMINATE</b>	<b>1;</b>	<i>удаление заявки из модели</i>

\*\*\*\*\*

**START 100000**

\*\*\*\*\*

**GENERATE [A],[B],[C],[D],[E]**

<b>GENERATE</b>	<b>10</b>
<b>GENERATE</b>	<b>25,10.5</b>
<b>GENERATE</b>	<b>(Uniform(99,14.5,35.5))</b>
<b>GENERATE</b>	<b>25,10,100,250,5</b>
<b>GENERATE</b>	<b>(Exponential(1,0,50))</b>
<b>GENERATE</b>	<b>,,,10</b>

**TERMINATE [A]**

<b>TERMINATE</b>	
<b>TERMINATE</b>	<b>1</b>
<b>TERMINATE</b>	<b>5</b>
<b>TERMINATE</b>	<b>2.5</b>

### 3. Имитационное моделирование

## Основные операторы блоков GPSS World

```
*****
GENERATE      10;      формирование детерминированного потока заявок
QUEUE        1;      отметка момента поступления заявки в очередь 1
SEIZE        uzel;    занятия прибора с именем uzel
DEPART       1;      отметка момента покидания заявкой очереди 1
ADVANCE      8,4;     задержка на время 8±4 единицы времени
RELEASE      uzel;    освобождение прибора с именем uzel
TERMINATE    1;      удаление заявки из модели
*****
```

```
START          100000
*****
```

<u>QUEUE A,[B]</u>	←	<u>DEPART A,[B]</u>	<u>Очередь</u>
<u>SEIZE A</u>	←	<u>RELEASE A</u>	<u>OK СМО</u>
<u>ENTER A,[B]</u>	←	<u>LEAVE A,[B]</u>	<u>МК СМО</u>

QUEUE 1;	<u>ADVANCE [A],[B]</u>
QUEUE buf_er,5;	ADVANCE 20;
ENTER did2,3;	ADVANCE 10.5,10;
ENTER s1_tu;	ADVANCE 100,FN\$ErI_1;
	ADVANCE (Exponential(35,5,50));



### 3. Имитационное моделирование

## Стандартный отчет GPSS-модели CMO D/U/1

GPSS World Simulation Report - CMO\_DU1.2.1

Wednesday, January 23, 2019 14:28:00

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	1000005.010	7	1	0

NAME	VALUE
UZEL	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK	TYPE	ENTRY	COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY
1		GENERATE		100000	0		0	
2		QUEUE		100000	0		0	
3		SEIZE		100000	0		0	
4		DEPART		100000	0		0	
5		ADVANCE		100000	0		0	
6		RELEASE		100000	0		0	
7		TERMINATE		100000	0		0	

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE.TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
UZEL	100000	0.801	8.008	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
1	1	0	100000	69780	0.040	0.405	1.339	0

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
100001	0	1000010.000	100001	0	1		

### 3. Имитационное моделирование

## Операторы блоков GPSS World

\*\*\*\*\*

```
GENERATE      10
QUEUE         1
SEIZE         uzel
DEPART        1
ADVANCE       8,4
RELEASE       uzel
TERMINATE     1
```

\*\*\*\*\*

```
START          100000
```

\*\*\*\*\*

ADVANCE [A=0],[B=0]

```
ADVANCE 20;
ADVANCE (Exponential(35,5,50));
```

```
ADVANCE 10.5,10;
ADVANCE 100,FN$Erl_1;
```

GENERATE [A],[B],[C],[D=∞],[E]



TERMINATE [A]

```
GENERATE 10
GENERATE (Exponential(1,0,50))
```

```
GENERATE 25,10.5;
GENERATE 25.85,FN$Erlang
```

```
GENERATE ,,10
GENERATE 25,10,100,250,5
```

```
TERMINATE
TERMINATE 1
TERMINATE 5
TERMINATE 2.5
```

QUEUE A,[B=1]



DEPART A,[B=1]

```
QUEUE 1
```

```
QUEUE buf_er,5
```

SEIZE A



RELEASE A

```
SEIZE dom
```

```
RELEASE 15
```

ENTER A,[B=1]



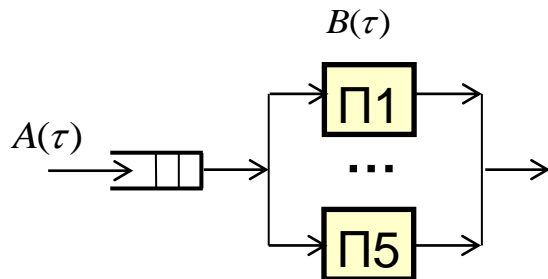
LEAVE A,[B=1]

```
ENTER did2,3
```

```
ENTER s1_tu
```

### 3. Имитационное моделирование

#### GPSS-модель СМО М/У/5



- количество обслуживающих приборов: 5;
- количество потоков (классов) заявок: 1;
- ёмкость накопителя: не ограничена (равна бесконечности);
- интервалы между заявками в потоке: 10 с (*простейший*);
- длительность обслуживания заявок:  $40 \pm 25$  с (*равномерный*).

```

*****
pri_m  STORAGE      5
*****

GENERATE      (exponential(33,5,10))
QUEUE
ENTER        stu_1
DEPART      pri_m
ADVANCE      stu_1
LEAVE        (uniform(99,15,65))
TERMINATE    pri_m
              1

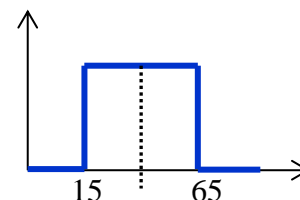
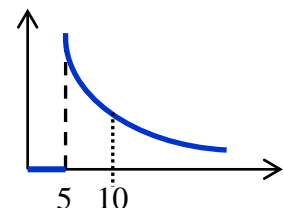
*****

START        100000
*****
    
```

<Имя>	STORAGE	A
did2	STORAGE ENTER LEAVE	90 A,[B] A,[B]

Среднее значение  
Смещение  
Номер генератора RN33

Максимальное значение  
Минимальное значение  
Номер генератора RN99



### 3. Имитационное моделирование

## GPSS-модель СМО с накопителем *ограниченной* емкости

```
*****
pri_m  STORAGE      5
*****
      GENERATE      (exponential(33,0,10))
      TEST          L  Q$stu_1,20,otk_1
      QUEUE         stu_1
      ENTER         pri_m
      DEPART        stu_1
      ADVANCE       (uniform(99,15,65))
      LEAVE         pri_m
      TERMINATE     1
otk_1  TERMINATE     1
*****
      START         1000000
*****
```

**TEST X A,B,[C]**

**A** – проверяемое  
значение

**B** – контрольное  
значение

**C** – имя (метка) блока  
назначения [отказ]

**X** – оператор отноше-  
ния (условие про-  
верки) между **A** и **B**:

**X** = (L, E, G, LE, GE, NE)

### 3. Имитационное моделирование

## GPSS-модель с гистограммой времени ожидания

\*\*\*\*\*

pri\_m STORAGE 5  
w\_1 QTABLE 1,5,10,12

\*\*\*\*\*

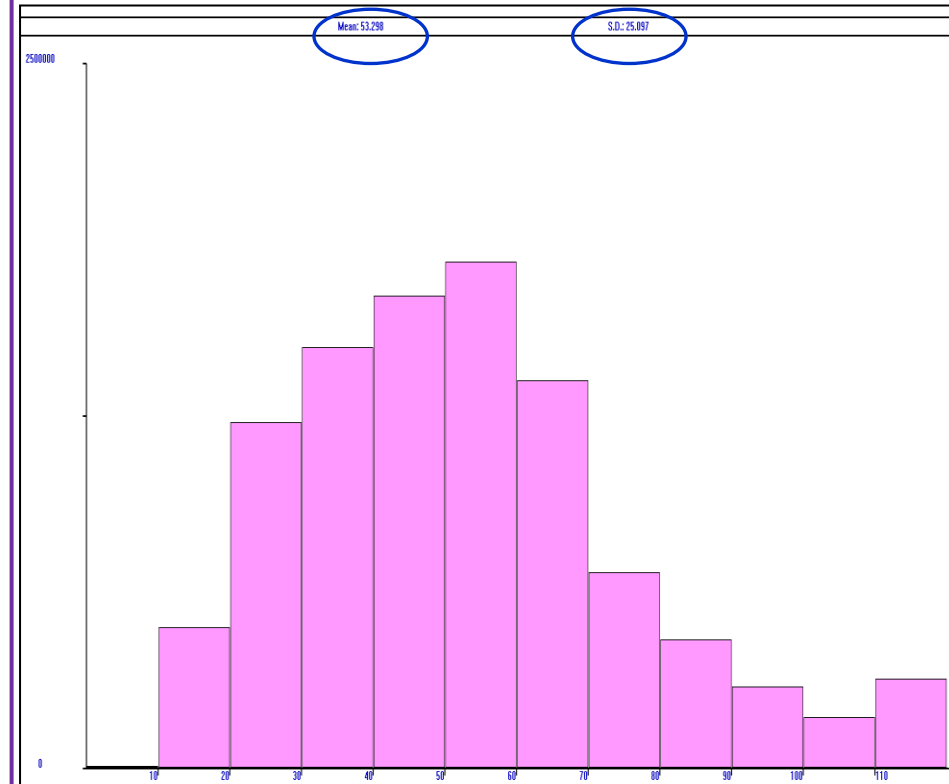
GENERATE (exponential(33,0,10))  
TEST L Q1,20,otk\_1  
QUEUE 1  
ENTER pri\_m  
DEPART 1  
ADVANCE (uniform(99,15,65))  
LEAVE pri\_m  
TERMINATE 1  
otk\_1 TERMINATE 1

\*\*\*\*\*

START 1000000

\*\*\*\*\*

<Имя> QTABLE A,B,C,D



- A** — имя очереди
- B** — ширина 1-го частотного интервала
- C** — ширина остальных интервалов
- D** — кол-во частотных интервалов

### 3. Имитационное моделирование

#### GPSS-модель с гистограммой времени ожидания

\*\*\*\*\*

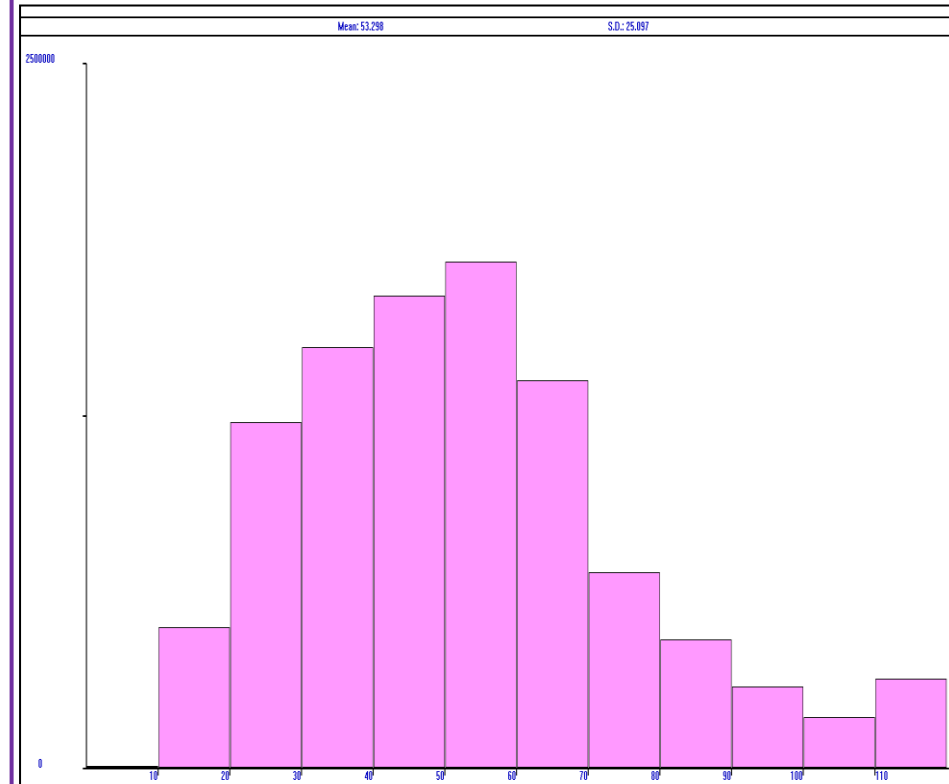
```
pri_m  STORAGE      5
w_1    QTABLE       stu_1,10,10,12
*****

        GENERATE     (exponential(33,0,10))
        TEST         L  Q$stu_1,20,otk_1
        QUEUE        stu_1
        ENTER        pri_m
        DEPART       stu_1
        ADVANCE      (uniform(99,15,65))
        LEAVE        pri_m
        TERMINATE    1
otk_1  TERMINATE    1
*****
```

START 1000000

\*\*\*\*\*

<Имя> QTABLE A,B,C,D



- A** — имя очереди
- B** — ширина 1-го частотного интервала
- C** — ширина остальных интервалов
- D** — кол-во частотных интервалов

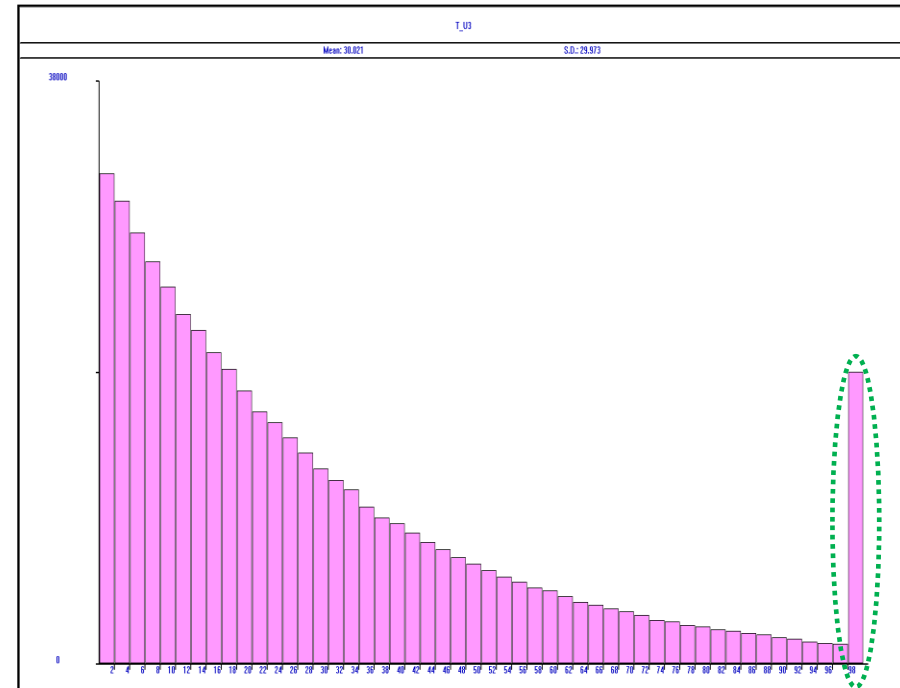
### 3. Имитационное моделирование

#### GPSS-модель с произвольной гистограммой

```
*****
pri_m  STORAGE      5
U_1    TABLE      M1,5,5,50
*****

GENERATE (exponential(33,0,10))
ENTER    pri_m
ADVANCE  (uniform(99,15,65))
LEAVE    pri_m
TABULATE U_1
TERMINATE 1
*****

START    1000000
*****
```



<Имя> TABLE  
TABULATE  
MARK [A]

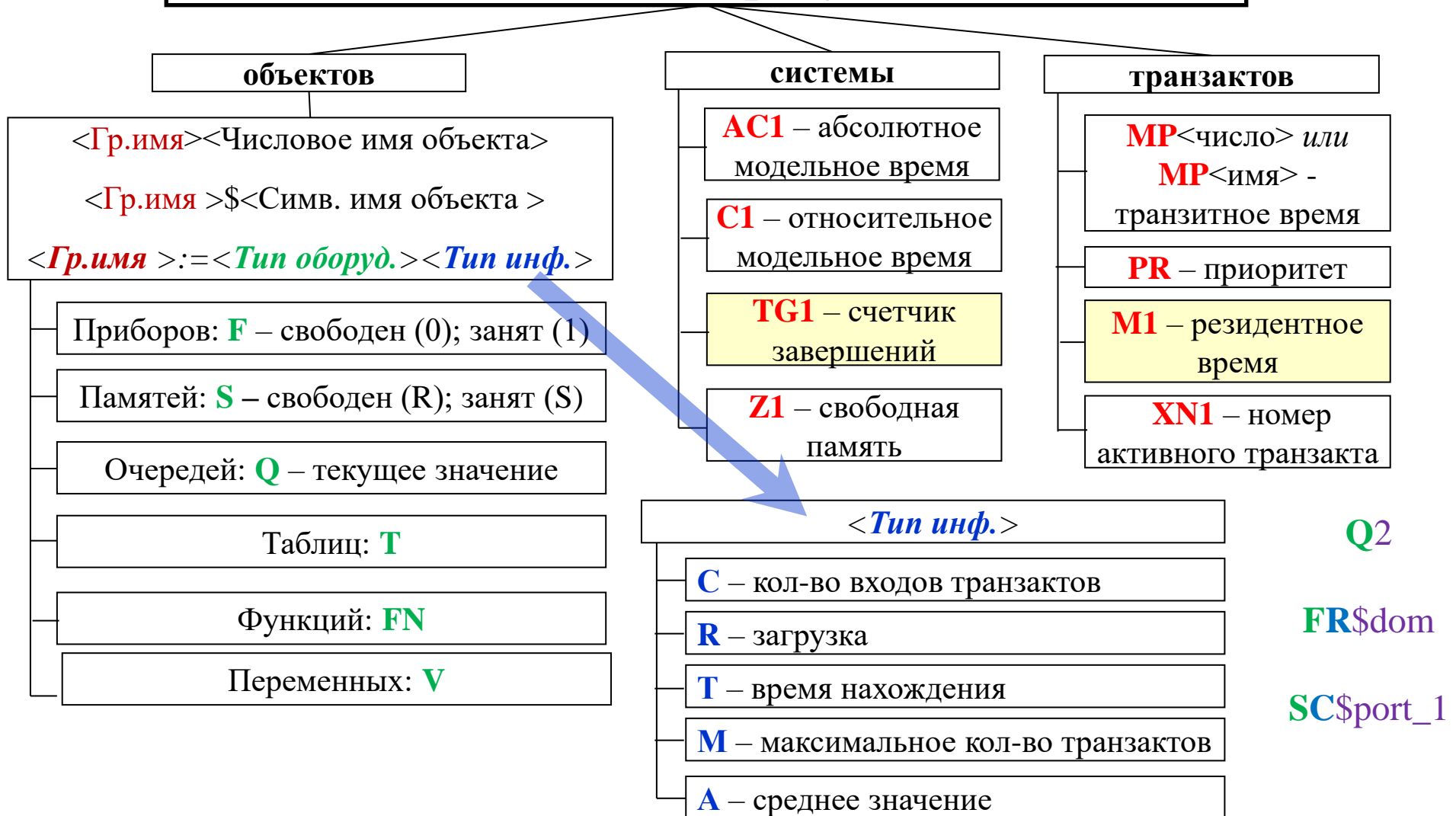
A,B,C,D  
A,[B=1]

- A – имя случайной величины
- B – ширина 1-го частотного интервала
- C – ширина остальных интервалов
- D – кол-во частотных интервалов
- A – имя таблицы
- B – весовой коэффициент

A – номер параметра для записи абсолютного времени [вместо времени входа в модель]

### 3. Имитационное моделирование

## Системные числовые атрибуты (СЧА / SNA)





### 3. Имитационное моделирование

#### СЧА приборов (Facility)

Групповое имя	Значение
<b>F</b>	1, если прибор занят; 0, если свободен
<b>FC</b>	Число занятий прибора транзактами
<b>FR</b>	Загрузка прибора, выраженная в долях тысячи
<b>FT</b>	Среднее время занятия прибора транзактом

**F5**  
**FR**\$Pribor

**S**\$mos\_t  
**SA**\$Bag  
**SR**\$System\_1

#### СЧА памяти (Storage) [многоканальных устройств]

Групповое имя	Значение
<b>R</b>	Количество незанятых элементов (приборов; каналов)
<b>S</b>	Количество занятых приборов
<b>SA</b>	Среднее количество занятых приборов
<b>SC</b>	Счетчик числа входов в многоканальное устройство
<b>SM</b>	Максимальное количество занятых приборов
<b>SR</b>	Загрузка многоканального устройства, выраженная в долях тысячи
<b>ST</b>	Среднее время нахождения транзакта в устройстве.

### 3. Имитационное моделирование

#### СЧА очередей (QUEUE)

Групп. имя	Значение	
<b>Q</b>	Текущее значение длины очереди	<b>Q\$bu_fer</b>
<b>QA</b>	Среднее значение длины очереди	
<b>QC</b>	Кол-во входов в очередь (увеличивается на величину В блока QUEUE)	<b>QC\$Que_L</b>
<b>QM</b>	Максимальное значение длины очереди	
<b>QT</b>	Ср. время пребывания в очереди с учетом нулевых входов	<b>QT\$Q_auto</b>
<b>QX</b>	Ср. время пребывания в очереди для входов без учета нулевых входов	
<b>QZ</b>	Кол-во нулевых входов в очередь (время ожидания было равно нулю)	<b>QZ\$Syst_3</b>

#### СЧА таблицы (TABLE):

**TB\$**<Имя> – Среднее значение элементов таблицы

**TB\$exp\_1**

**TD \$**<Имя> – Стандартное отклонение элементов таблицы

**TD\$Erlang**

**TC \$**<Имя> – Количество учтенных в таблице элементов

**TC\$Tab\_W**

#### СЧА функции (FUNCTION):

**FN\$**<Имя> – результат вычисления функции

**FN\$Lim\_on**

#### СЧА переменной (VARIABLE):

**V\$**<Имя> – результат вычисления переменной

**V\$Sym\_5**

### 3. Имитационное моделирование

#### GPSS-модель с обслуживанием по Эрлангу

\*\*\*\*\*

pri\_m    STORAGE        5  
tu\_5     TABLE   M1,10,20,50

\*\*\*\*\*

          GENERATE        (exponential(33,0,10))  
          TEST        L     Q\$stu\_1,20,otk\_1  
          QUEUE        stu\_1  
          ENTER        pri\_m  
          DEPART        stu\_1  
          ADVANCE        (exponential(44,0,20)+exponential(55,0,20))  
          TABULATE        tu\_5  
          LEAVE        pri\_m  
          TERMINATE        1  
otk\_1    TERMINATE        1

\*\*\*\*\*

          START            1000000

\*\*\*\*\*

$$k = \left\lceil \frac{1}{\nu^2} \right\rceil; \quad M[\tau] = \frac{t}{k}$$

### 3. Имитационное моделирование

#### Реализация гиперэкспоненциального распределения

\*\*\*\*\*

\* По параметрам двухфазного распределения: **q**, **t\_1** и **t\_2**

$$q \leq \frac{2}{1+v^2}$$

```
PROCEDURE hyper1(q, t_1, t_2) BEGIN
```

```
  if (uniform(51,0,1) < q) then return exponential(99,0,t_1);
```

```
  else return exponential(199,0,t_2);
```

```
END;
```

$$t_1 = \left[ 1 + \sqrt{\frac{1-q}{2q}} (v^2 - 1) \right] t$$

$$t_2 = \left[ 1 - \sqrt{\frac{q}{2(1-q)}} (v^2 - 1) \right] t$$

\*\*\*\*\*

\* По мат.ожиданию **tt** и коэффициенту вариации **k\_var** с заданным генератором **rndgen**

```
PROCEDURE hyper2(rndgen, tt, k_var, dolya) BEGIN
```

```
  temporary q_max, tt_1, tt_2;
```

```
  q_max = dolya#2/(1+k_var#k_var);
```

```
  tt_1 = tt*(1+SQR((1-q_max)#(k_var#k_var-1)/(2#q_max)));
```

```
  tt_2 = tt*(1-SQR(q_max#(k_var#k_var-1)/(2*(1-q_max))));
```

```
  return hyper1(q_max,tt_1,tt_2);
```

```
END;
```

\*\*\*\*\*

# «Моделирование»

**Лектор:**        **АЛИЕВ Тауфик Измайлович,**  
*доктор технических наук, профессор*

---

**Национальный исследовательский университет ИТМО  
(НИУ ИТМО)**

*Факультет программной инженерии и компьютерной техники*