

# Теория телетрафика

профессор Крылов Владимир  
Владимирович,  
[krylov@unc.sci-nnov.ru](mailto:krylov@unc.sci-nnov.ru)

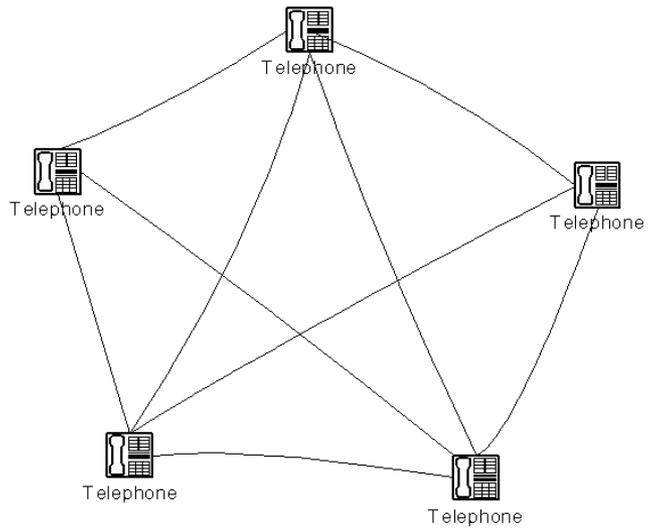
# Литература

- Ю.Н.Корнышев, А.П.Пшеничников, А.Д. Харкевич Теория телетрафика :Учебник для вузов.-М.:Радио и связь, 1996.-272 с.
- Л.Клейнрок Теория массового обслуживания. Пер. С англ. М.: Машиностроение, 1979.-432с.
- М.Шварц Сети связи, протоколы, моделирование и анализ: В 2-х ч.: Ч.1 Пер. с англ.-М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992- 336с.
- М.Шварц Сети связи, протоколы, моделирование и анализ: В 2-х ч.: Ч.2Пер. с англ.-М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992-272с.
- Л.Клейнрок Вычислительные системы с очередями: Пер. с англ. – М., Машиностроение, 1979.-600с.
- В.В. Крылов Терия телетрафика, Н.Новгород: НГТУ,2000,102 с.

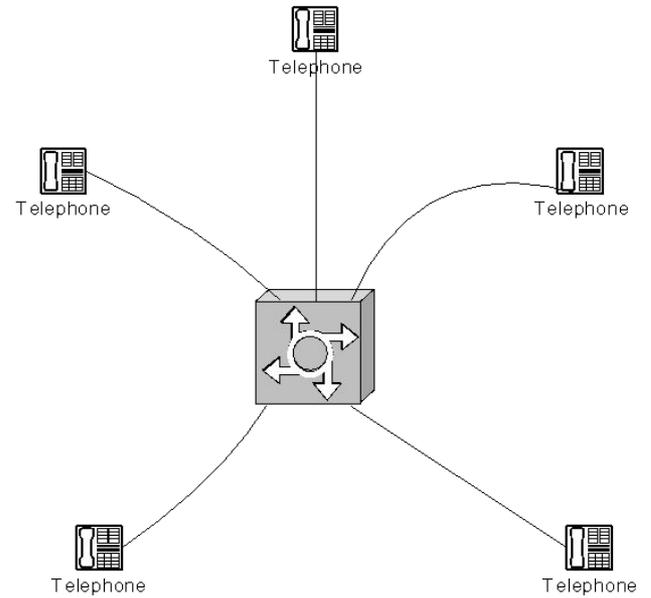
# Agner Krarup Erlang (1878-1929)



$$C^2_N$$



(a)

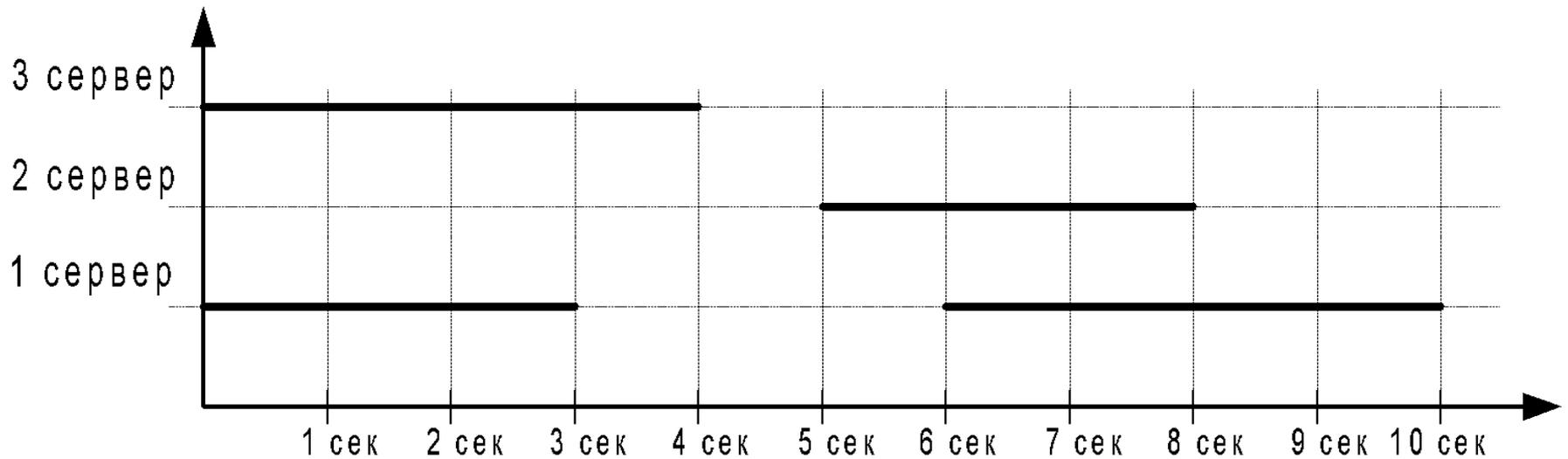


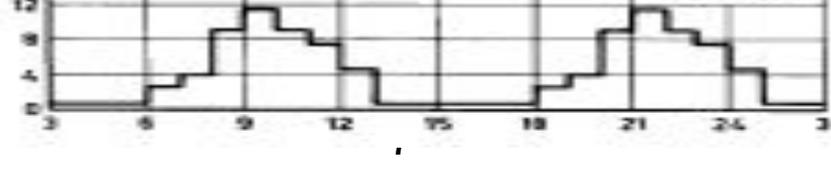
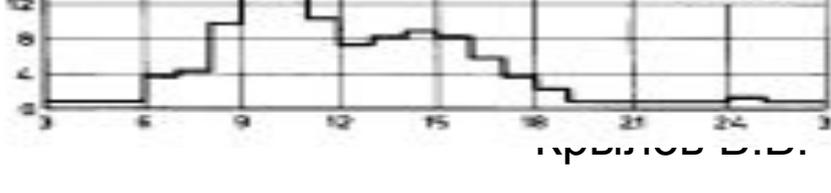
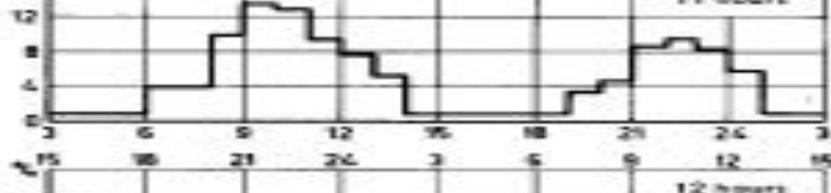
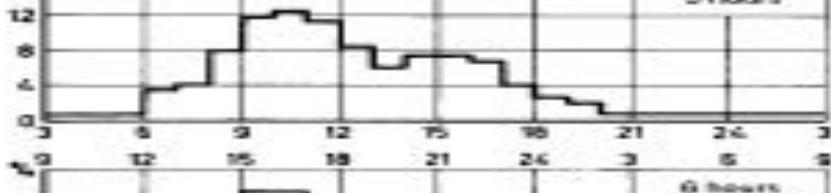
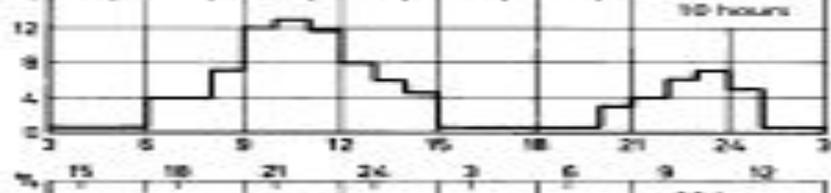
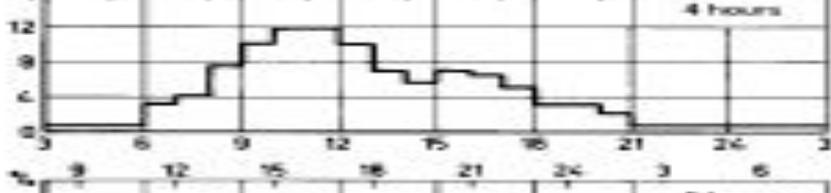
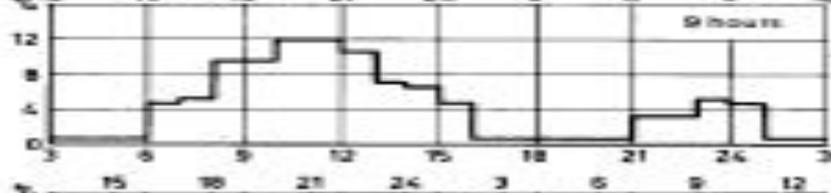
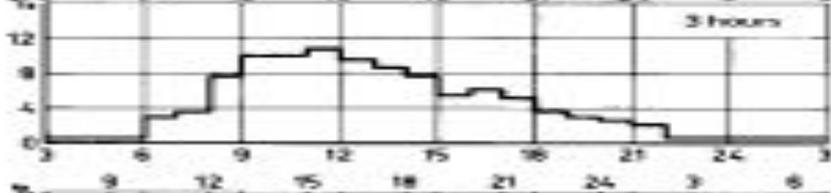
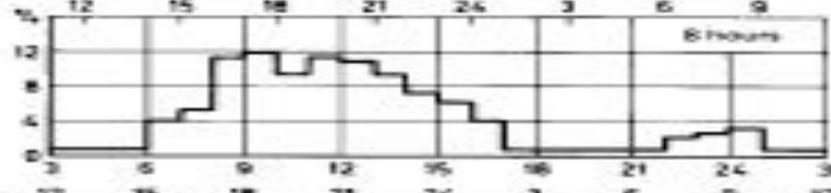
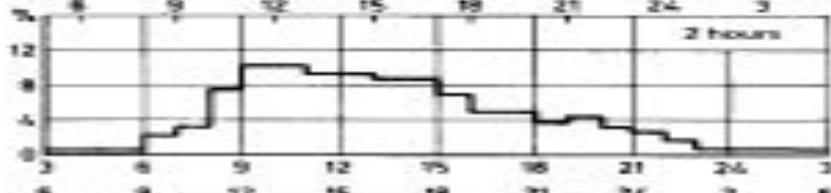
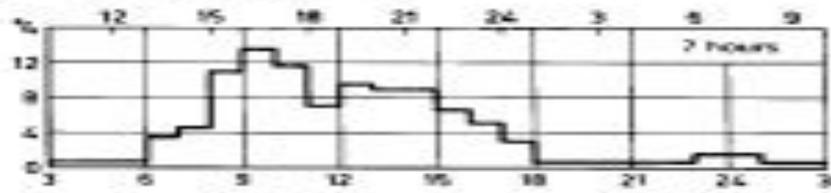
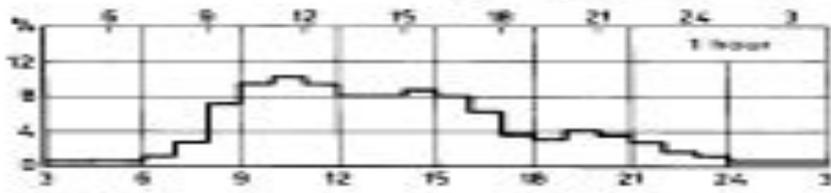
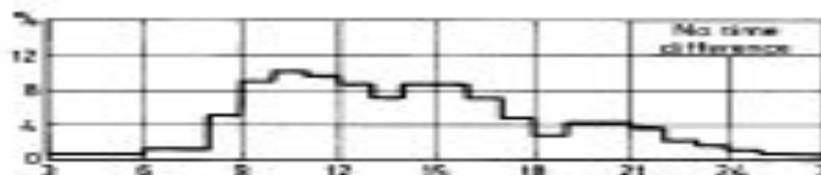
(b)

# Некоторые термины

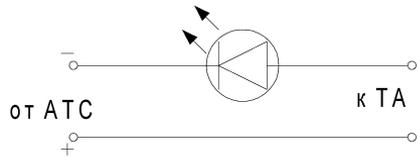
- Требование (arrival)
- Время обслуживания (holding time)
- Сервер (server)
- Вероятность блокировки (blocking probability)
- Очередь (queue)
- Системы с очередями (queueing systems)
- Среднее время ожидания обслуживания (average waiting time)
- Среднее время обслуживания (average service time)
- Среднее время пребывания в системе

# Диаграмма Ганта





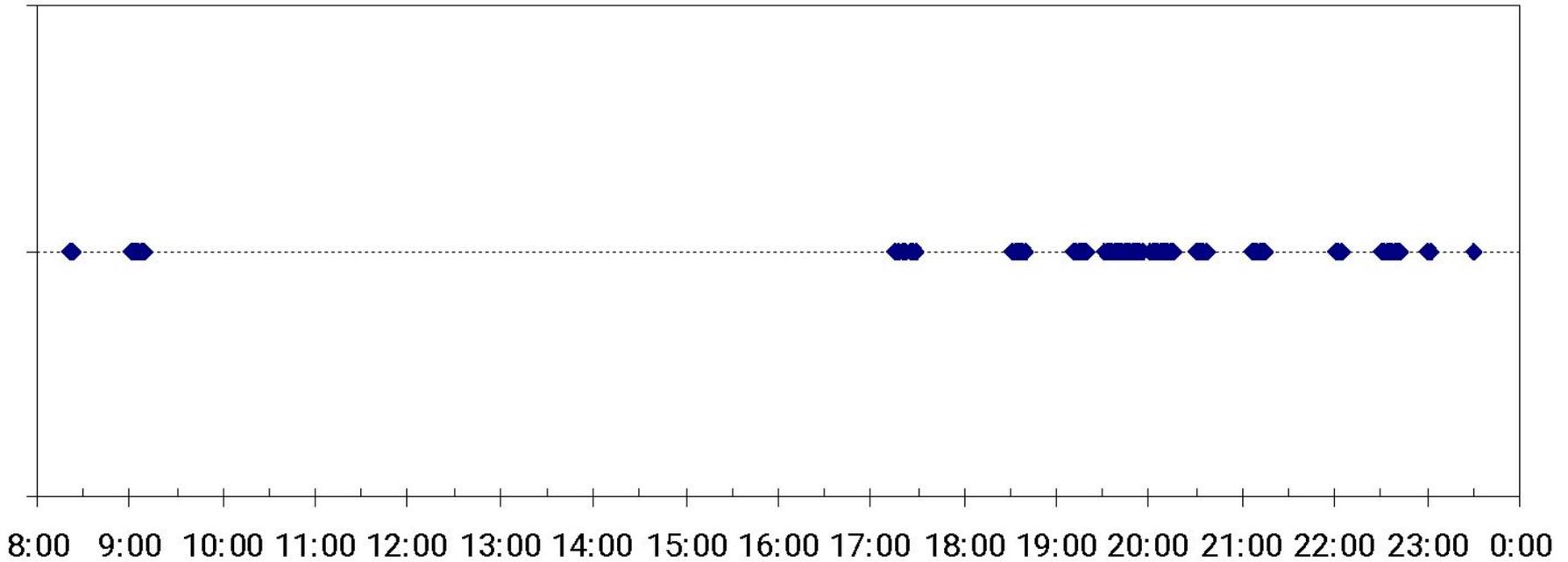
# Измерения трафика



Call start	Call end	Duration (min)	Call sum (hour)
08.20	08.23	3	0.05
09.00	09.10	10	0.2166
17.15	17.18	3	0.2666
17.20	17.22	2	0.3
17.25	17.29	4	0.3666
18.30	18.40	10	0.5333
19.10	19.20	10	0.7
19.30	19.56	26	1.1333
20.00	20.15	15	1.38
20.30	20.37	7	1.5
21.05	21.15	10	1.6666
22.00	22.05	5	1.75
22.30	22.43	13	1.9666
23.00	23.02	1	1.9833
23.30	23.31	8	2.0

Крылов В.В.

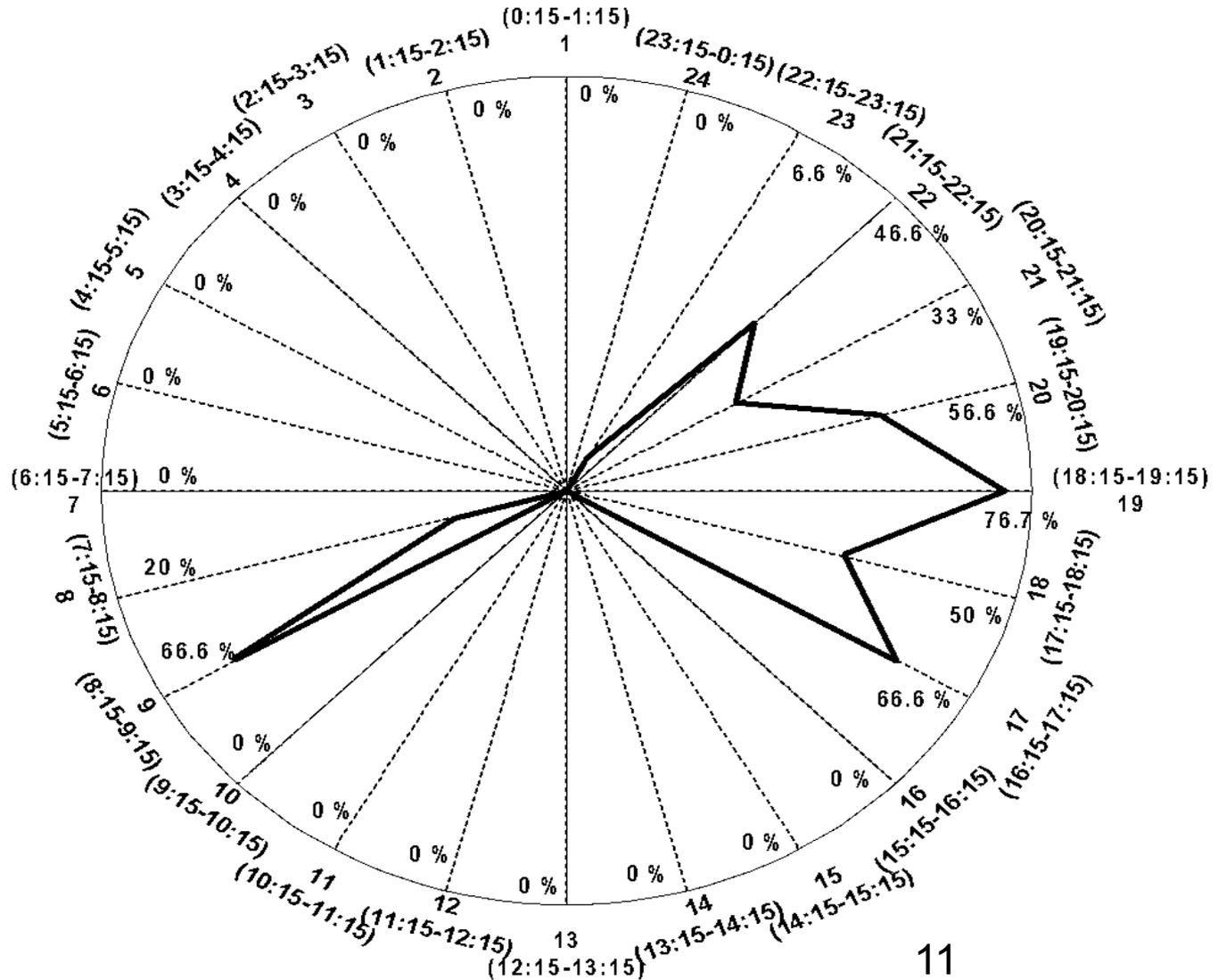
## Диаграмма Ганта



# Результаты мониторинга

Средние значения интенсивности трафика по 15-минутным интервалам					
8.00-8.15	0.0	19.00-19.15	0.333	21.45-22.00	0.0
8.15-8.30	0.2	19.15-19.30	0.333	22.00-22.15	0.33
8.30-8.45	0.0	19.30-19.45	1.0	22.15-22.30	0.0
8.45-9.00	0.0	19.45-20.00	0.733	22.30-22.45	0.866
9.00-09.15	0.666	20.00-20.15	1.0	22.45-23.00	0.0
09.15-17.15	0.0	20.15-20.30	0.0	23.00-23.15	0.066
17.15-17.30	0.666	20.30-20.45	0.466	23.15-23.30	0.0
17.30-17.45	0.0	20.45-21.00	0.0	23.30-23.45	0.066
17.45-18.00	0.0	21.00-21.15	0.666	23.45-08.00	0.0
18.00-18-15	0.0	21.15-21.30	0.0	23.30-23.45	0.066
18.30-18.45	0.666	21.30-21.45	0.0		

# Диаграмма Кивиата



# CommView

The screenshot shows the CommView - Evaluation Version application window. The main area displays a table of IP Statistics. The table has columns for Local IP, Remote IP, In, Out, Direction, Sessions, Ports, Hostname, and Bytes. The data is as follows:

Local IP	Remote IP	In	Out	Direction	Sessions	Ports	Hostname	Bytes
195.122.2...	62.159.28...	13	13	Pass	1	1480...		1,800
192.168.2...	62.159.28...	0	3	Out	0	137		276
195.122.2...	212.87.38...	0	6	Pass	0	1481...		372
195.122.2...	205.188.11...	25	29	Pass	0	1169...		8,639
192.168.2...	205.188.11...	0	3	Out	0	137		276
192.168.2...	212.87.38...	0	3	Out	0	137		276
195.122.2...	129.82.74...	9	9	Pass	0	1483...		1,098
192.168.2...	129.82.74...	0	3	Out	0	137		276
192.168.2...	195.122.22...	16	16	Pass	1	445,...	denisenko...	4,788
195.122.2...	195.122.22...	2	3	Pass	0	53,1...	denisenko...	648
192.168.2...	192.168.29.1	8	8	Out	0	1900	gw.lan.unc...	3,016
195.122.2...	213.177.11...	0	3	Pass	0	1486...	nat.tecom...	186
195.122.2...	195.122.22...	0	5	Pass	0	138,...	u63.unc.sci...	771
192.168.2...	192.168.29...	4	4	Out	0	53	main2.lan.u...	1,103
213.177.1...	195.122.22...	0	3	Pass	0		denisenko...	270
192.168.2...	192.168.29...	0	3	Pass	0	137		276
213.177.1...	195.122.22...	2	2	Pass	0	1983...	denisenko...	240
195.122.2...	213.177.11...	27	24	Pass	3	1499...	prime.teco...	9,250
195.122.2...	66.210.158...	5	5	Pass	0	1500...	corp-ftp.or...	610

The status bar at the bottom of the window shows: Capture: On, Pkts: 13 in / 25 out / 265 pass, Auto-saving: Off, Rules: Off, Alarms: Off, 13% CPU Usage. The Windows taskbar at the very bottom shows the Start button and several open applications: Inbox - Microsoft Out..., Теория телеграфик..., and CommView - Evaluati... The system clock shows 5:56 PM.

# CommView Report

The screenshot shows a Windows XP desktop environment. The desktop background is a blue landscape. Numerous icons are visible, including applications like DivX Player 2.0 Alpha, Bluetooth Neighborhood, Internet Explorer, Microsoft Outlook, Microsoft ActiveSync, CommView, RealOne Player, Acrobat Reader 5.0, WINWORD, Shortcut to Visio, UNC, Pocket\_PC My Documents, MATLAB 6.1, GPSSW, Java Web Start, spec\_v2.zip, pc\_info.txt, japan\_cente..., and folders like Change on Main2, My Documents, Source\_Safe, Teom Group, and Recycle Bin. A taskbar at the bottom shows the Start button and several open applications: Inbox - Microsoft Out..., Теория телеграфик..., CommView - Evaluati..., and Statistics.

The **Statistics** window is the primary focus, displaying network traffic data. It has tabs for General, IP Prot., IP Sub-prot., Sizes, LAN Hosts(MAC), LAN Hosts(IP), Errors, and Report. The **General** tab is active, showing two bar charts and a summary table.

**Packets per second** chart: Average: 7

**Bytes per sec.** chart: Average: 1,233

	Inbound	Outbound	Pass-through
Packets	128	158	2,183
Bytes	18,964	20,245	383,577
Bytes per sec.	55	59	1,118

Total: 2,469 packets 422,786 bytes

Current network utilization: 0.00%

Capture time elapsed since last reset (hh:mm:ss): 00:05:43

Apply current rules

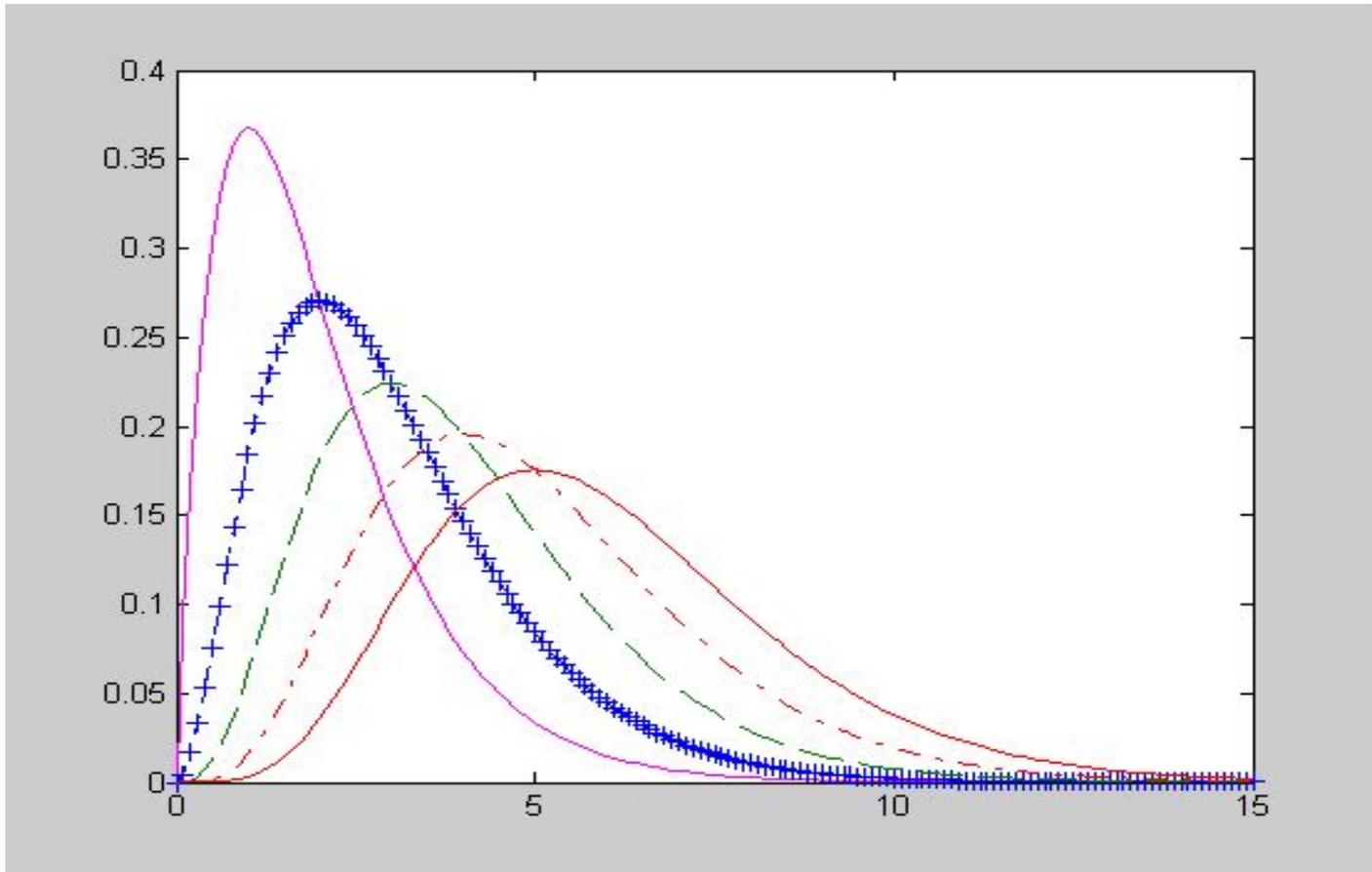
Buttons: Reset, OK

# ПУАССОН (Poisson) Симеон Дени (1781-1840)

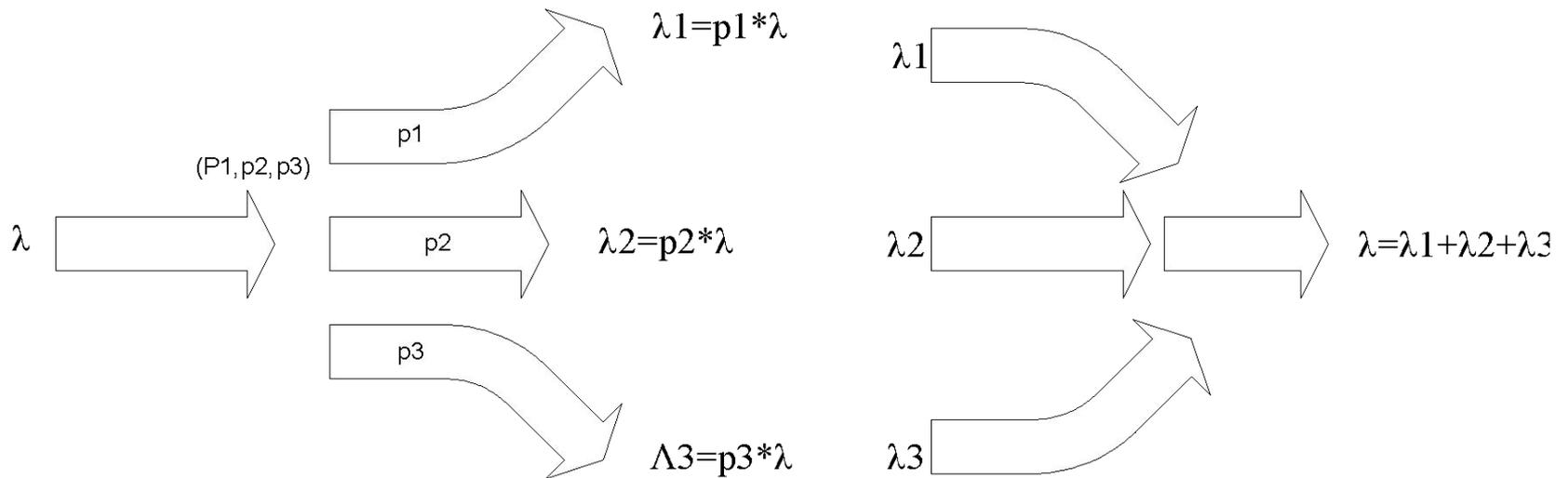


# Пуассоновский (Poisson) поток

$$P_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}$$



# Свойства пуассоновского потока



# Примитивный поток

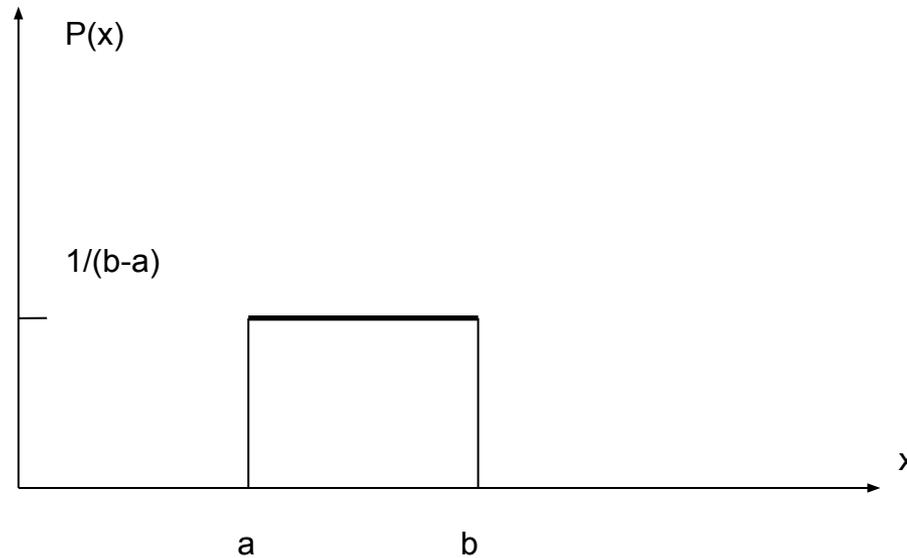
$$\lambda = \lambda_k = \alpha(N - k)$$

$$\bar{\lambda} = \sum_{k=0}^N \lambda_k p_k$$

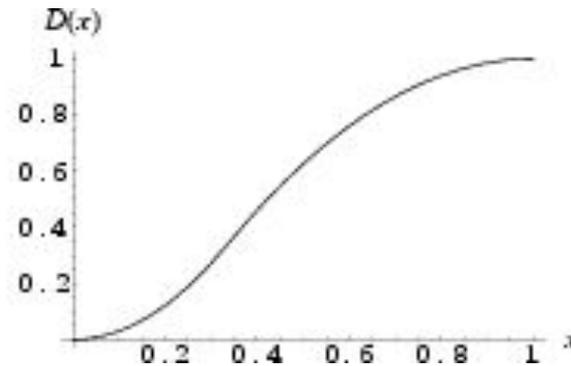
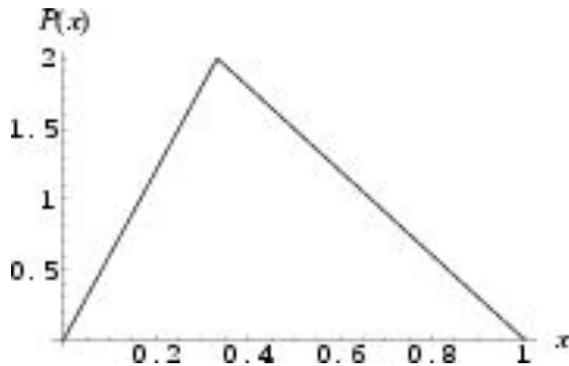
$$\bar{\lambda}_1 = \frac{\bar{\lambda}}{N}$$

# Равномерное распределение

$$P(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [a, b] \\ \frac{1}{b-a}, & x \in [a, b] \end{cases}$$



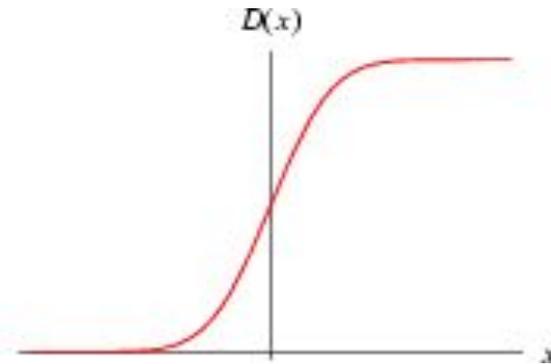
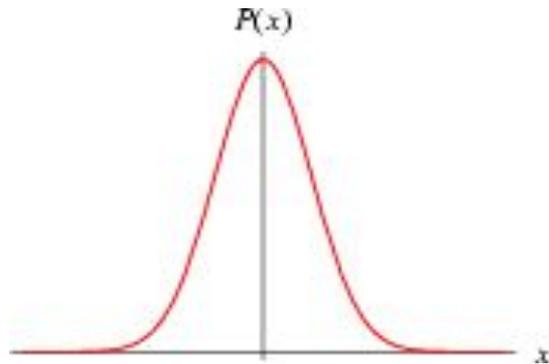
# Треугольное распределение.



$$P(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{for } a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{for } c \leq x \leq b \end{cases}$$

$$D(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} & \text{for } a \leq x \leq c \\ 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} & \text{for } c \leq x \leq b \end{cases}$$

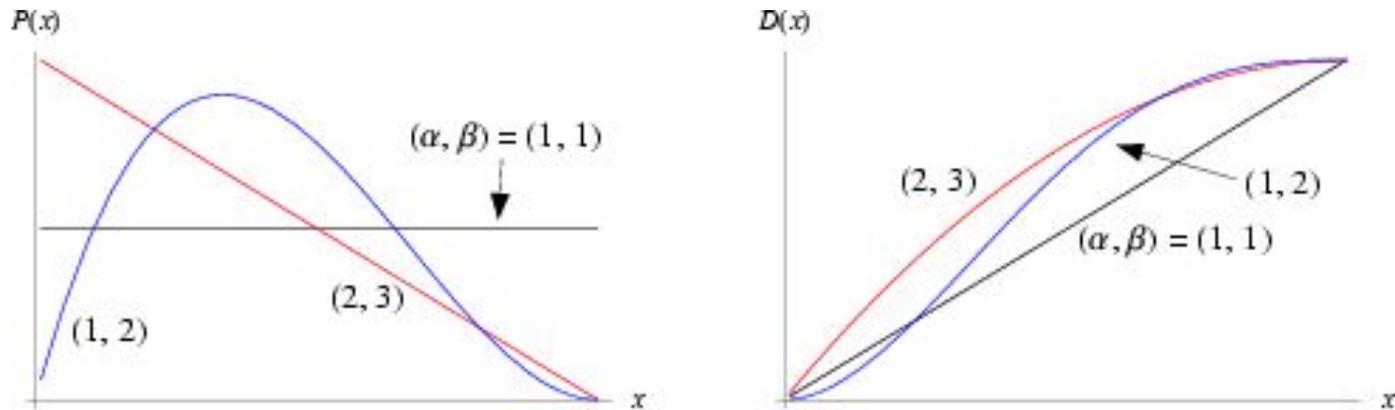
# Нормальное распределение



$$P(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2 / (2\sigma^2)}$$

$$D(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x e^{-(z-\mu)^2 / (2\sigma^2)} dz$$

# Бета распределение

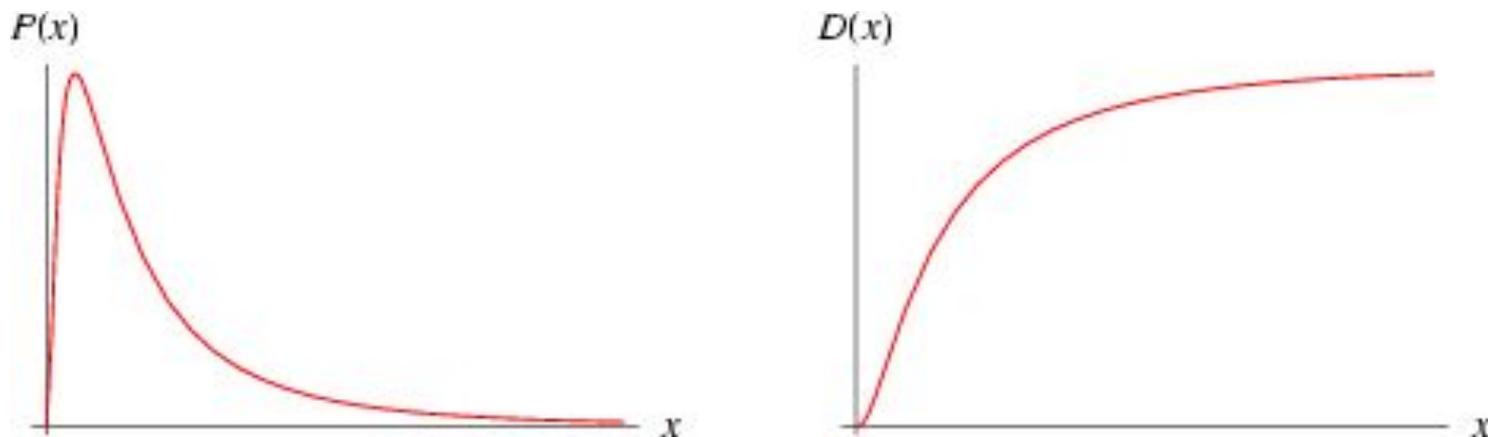


$$P(x) = \frac{(1-x)^{\beta-1} x^{\alpha-1}}{B(\alpha, \beta)} = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} (1-x)^{\beta-1} x^{\alpha-1}$$

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} z^{x-1} e^{-z} dz$$

Крылов В.В.

# Логнормальное распределение



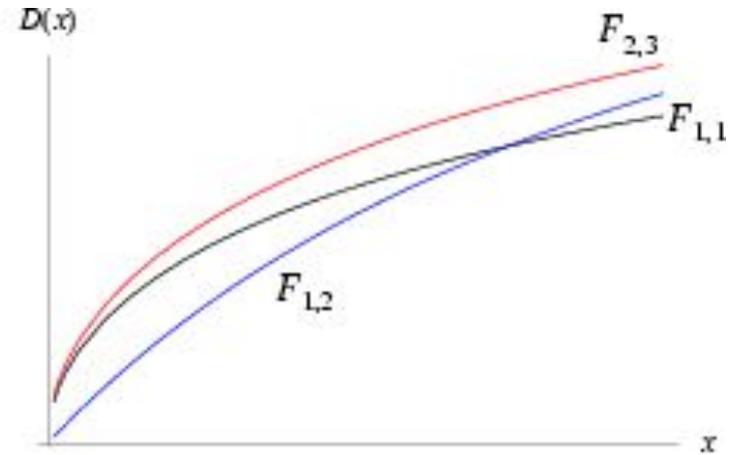
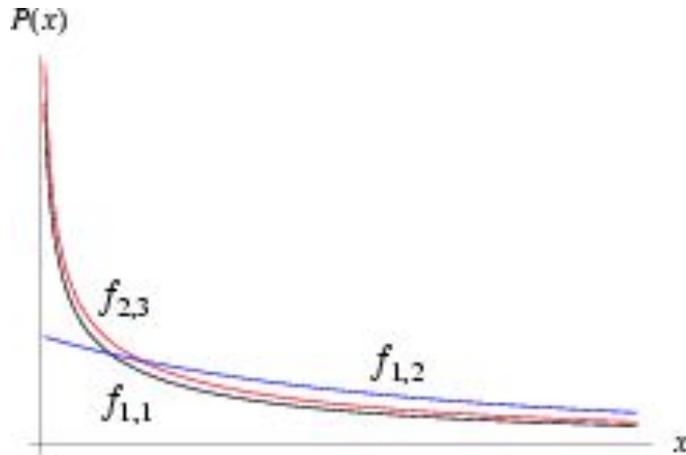
$$P(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \ln a)^2}{2\sigma^2}}$$

# Распределение Стьюдента



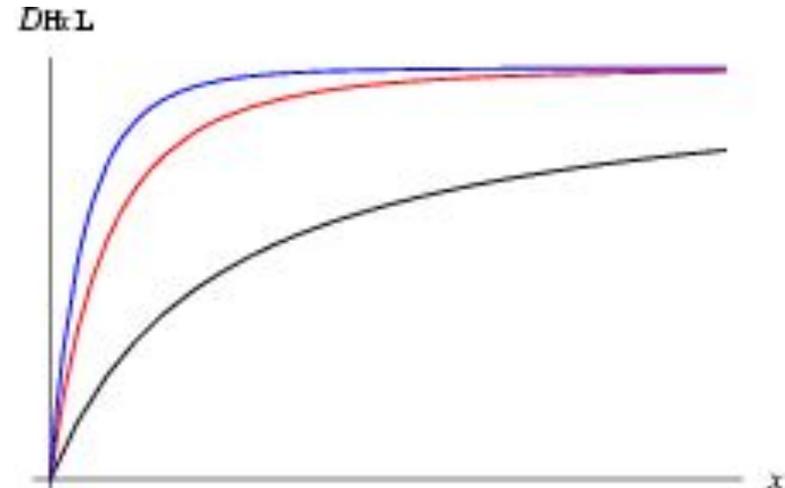
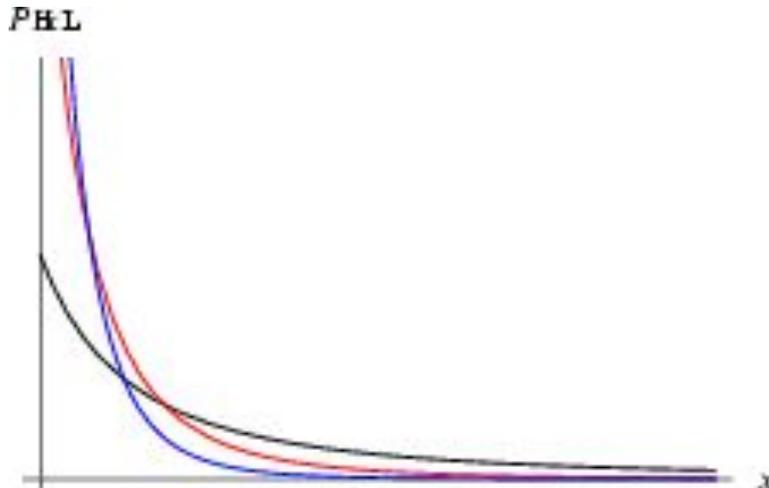
$$P_{\tau_n}(x) = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(1 + \frac{x^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}}$$

# F-распределение Фишера



$$P_{F_{n,m}}(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+m}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)\Gamma\left(\frac{m}{2}\right)} \left(\frac{n}{m}\right)^{\frac{n}{2}} \frac{x^{\frac{n-2}{2}}}{\left(1 + \frac{nx}{m}\right)^{\frac{m+n}{2}}}$$

# Распределение Парето



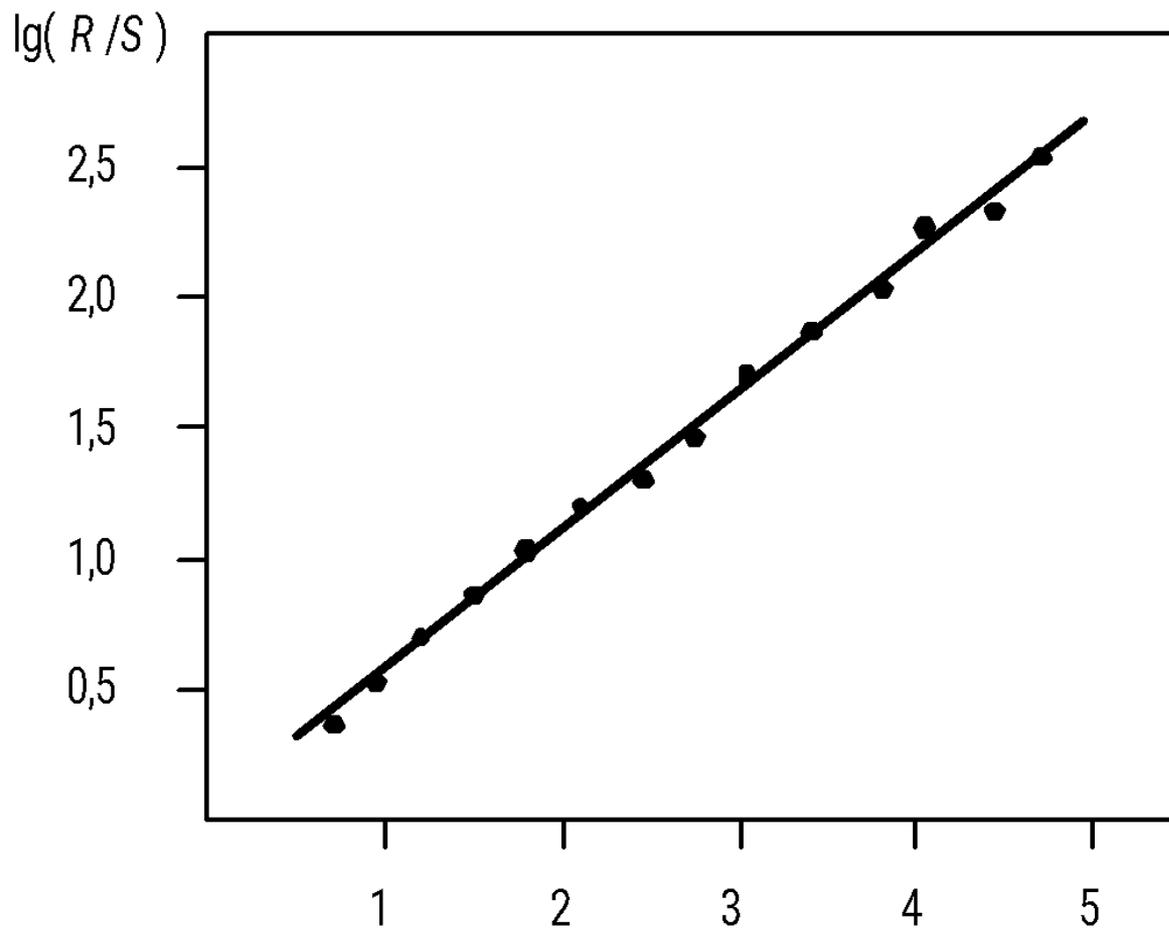
$$P(x) = \frac{ab^a}{x^{a+1}}$$

Крылов В.В.

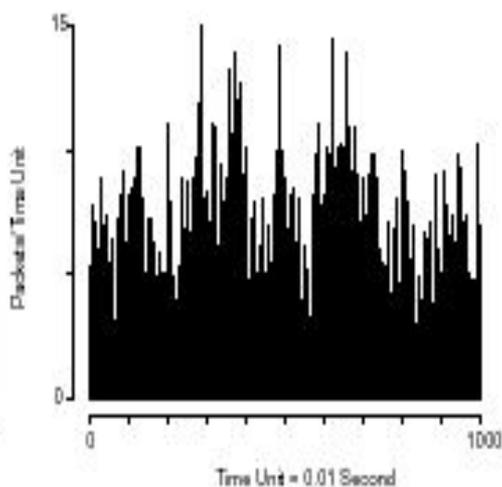
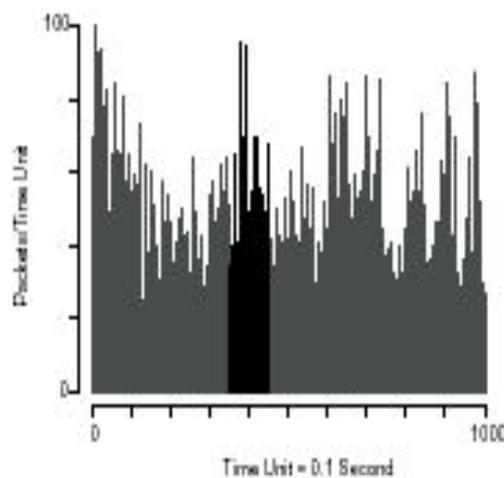
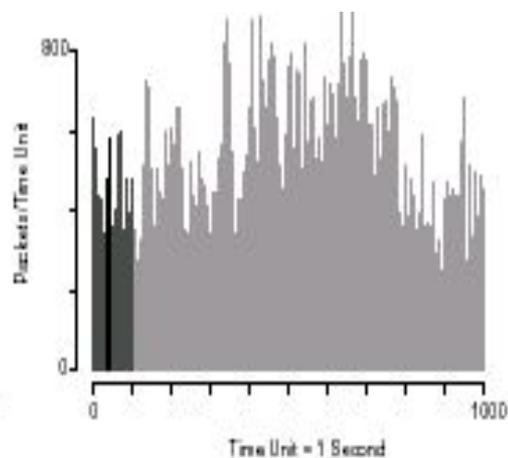
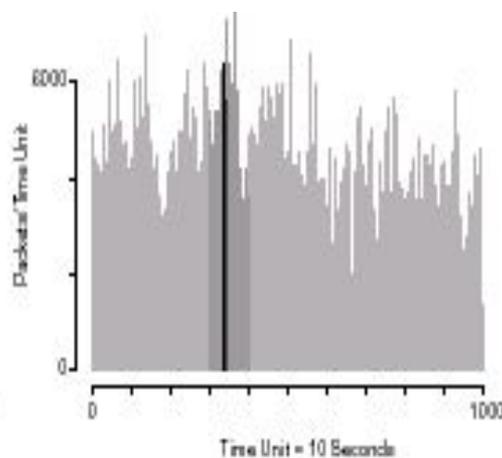
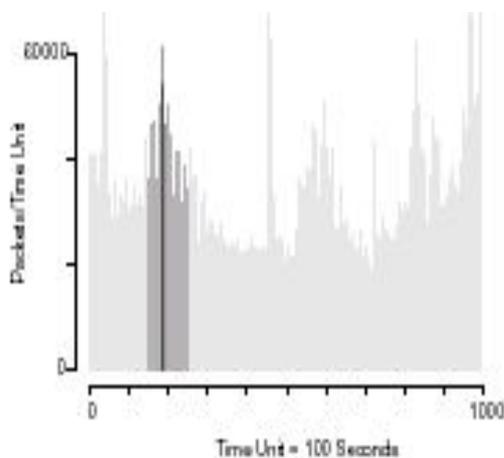
$$D(x) = 1 - \left(\frac{b}{x}\right)^a$$

25

# Оценивание параметра Херста



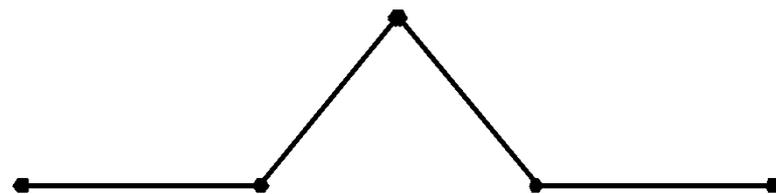
# Самоподобные (фрактальные) модели трафика



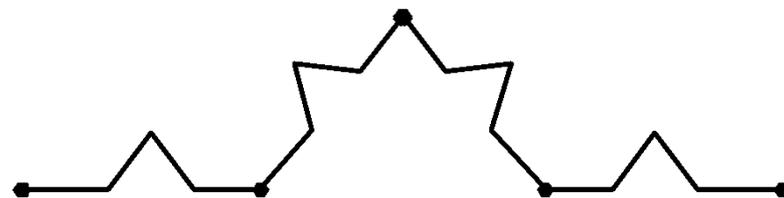
# Геометрические фракталы



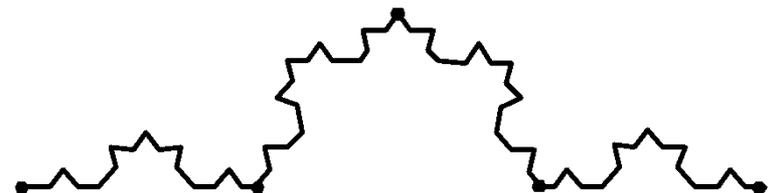
$n = 0$



$n = 1$



$n = 2$



# Основные принципы моделирования потока событий

$$x_i = 3x_{i-1}, \text{mod}(32)$$

$$x_0 = 1 \quad 00001 \quad U=1/32=0.03125$$

$$x_1 = 3 \quad 00011 \quad U=3/32=0.09375$$

$$x_2 = 9 \quad 01000 \quad U=9/32=0.28125$$

$$x_3 = 27 \quad 11011 \quad U=27/32=0.84375$$

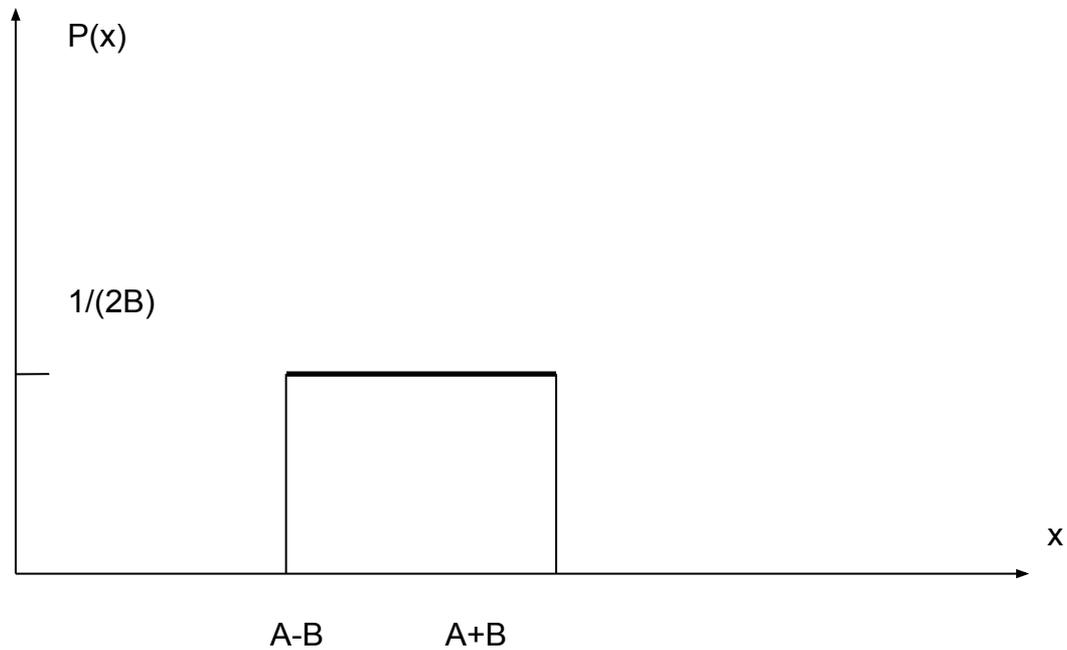
$$x_4 = 81 \text{mod} 32 = 17 \quad 10001 \quad U=17/32=0.53125$$

$$x_5 = 51 \text{mod} 32 = 19 \quad 10011 \quad U=19/32=0.59375$$

$$x_6 = 57 \text{mod} 32 = 25 \quad 11001 \quad U=25/32=0.78125$$

$$x_7 = 75 \text{mod} 32 = 11 \quad 01011 \quad U=11/32=0.34375$$

# *GENERATE A,B*

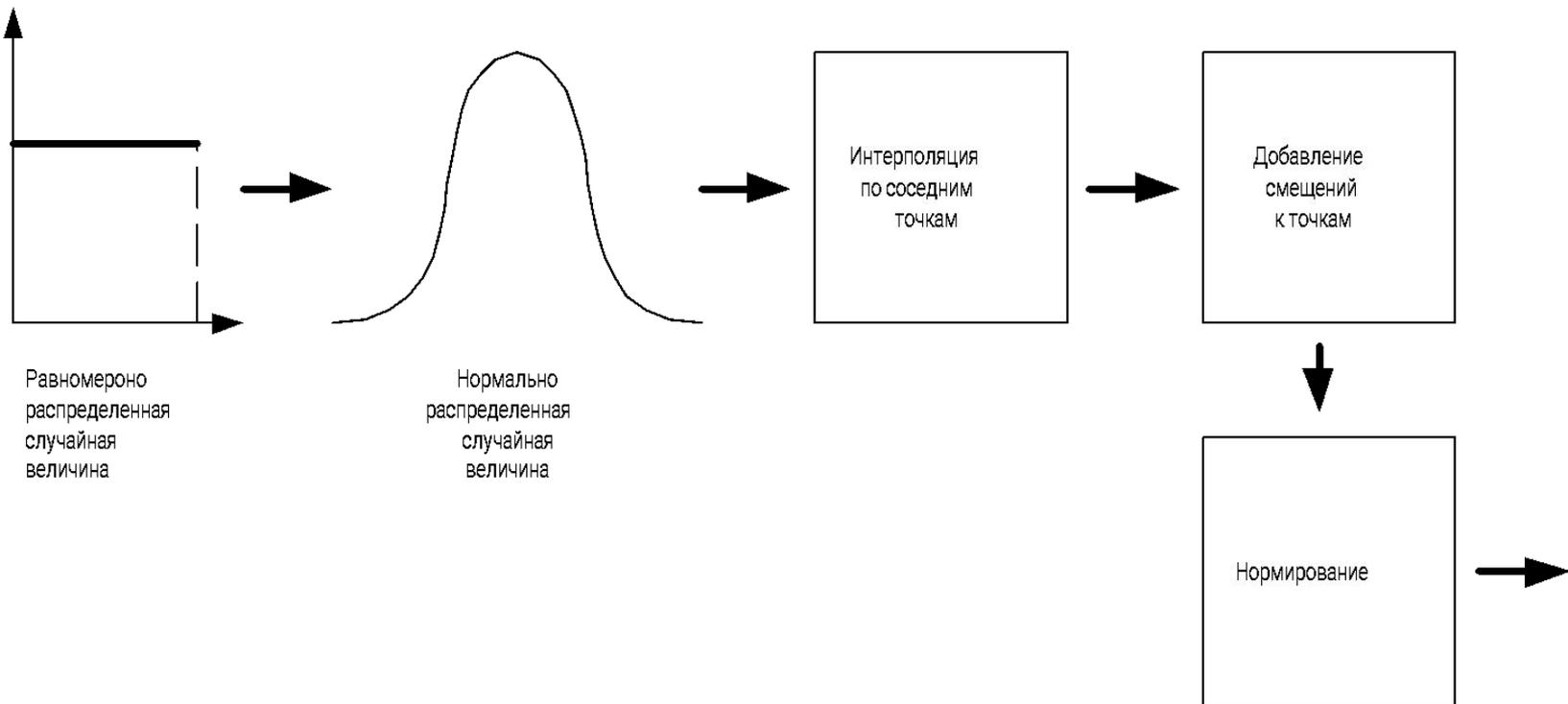


# GENERATE A, FN\$EXPON

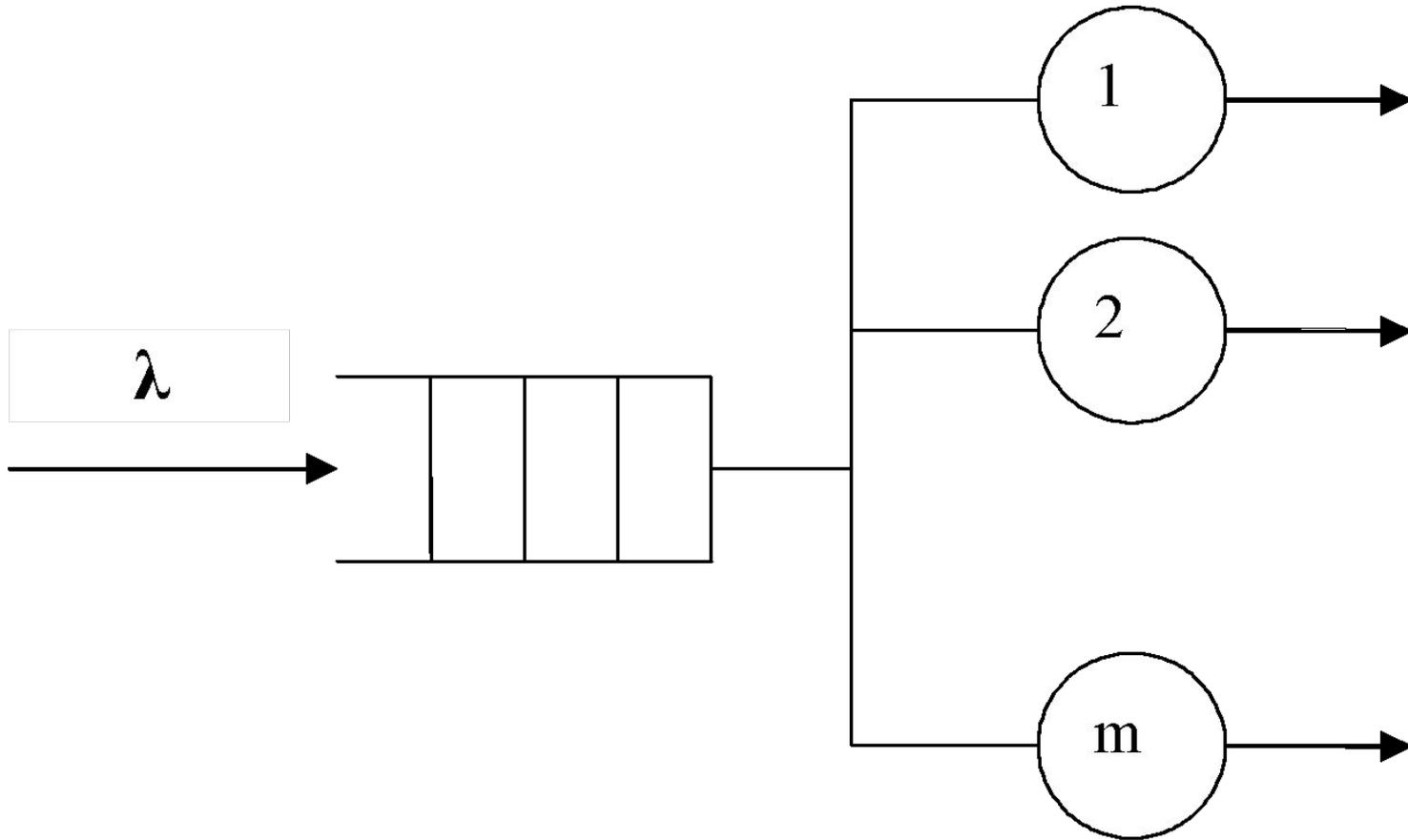
## EXPON FUNCTION

0,0/0.1,0.104/.2,.222/.3,.355/.4,.509/.6,.915/.7,1.2/.75,1.38/.8,1.6/  
.84,1.83/.88,2.12/.9,2.3/.94,2.81/.95,2.99/.96,3.2/.97,3.5/.98,3.9/.99,4.6/.995,5.3/.9  
98,6.2/.999,7/.9998,8

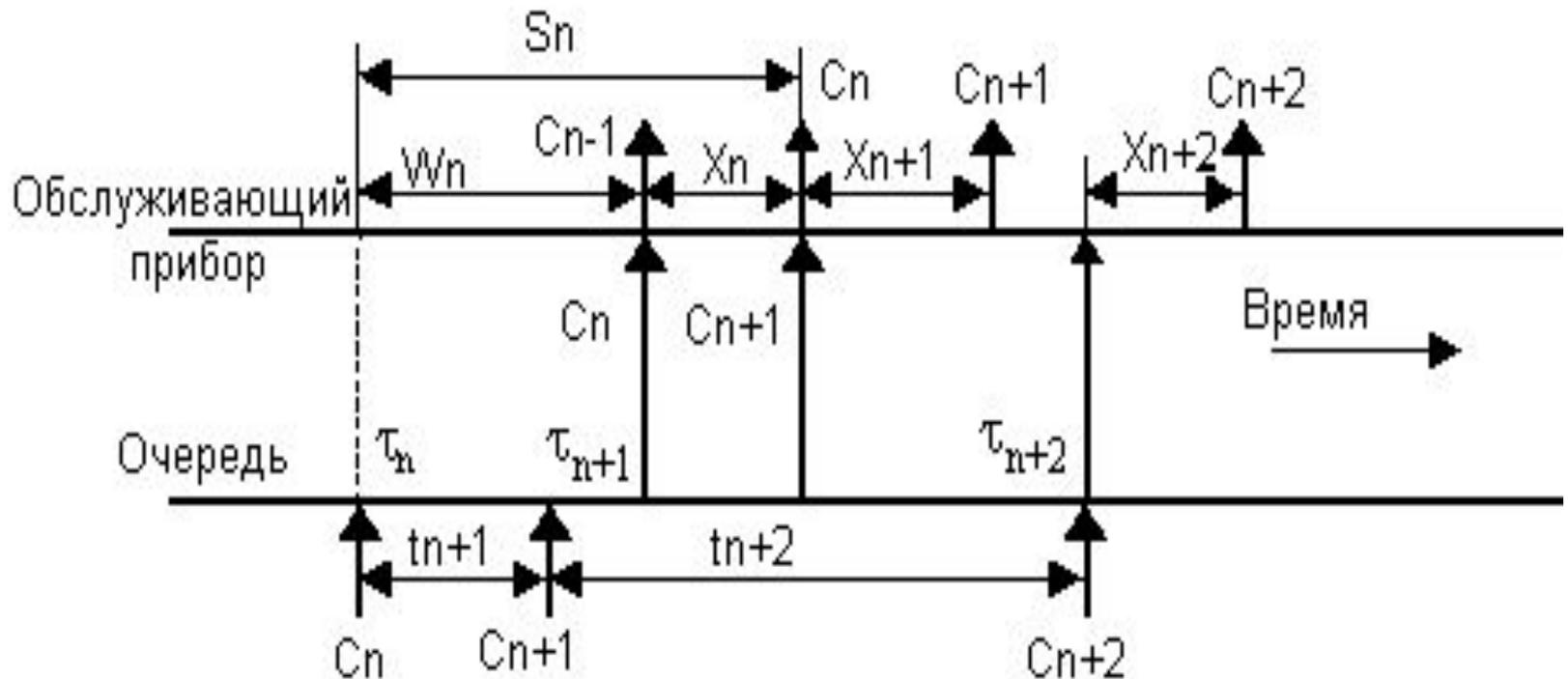
# Моделирование самоподобных процессов



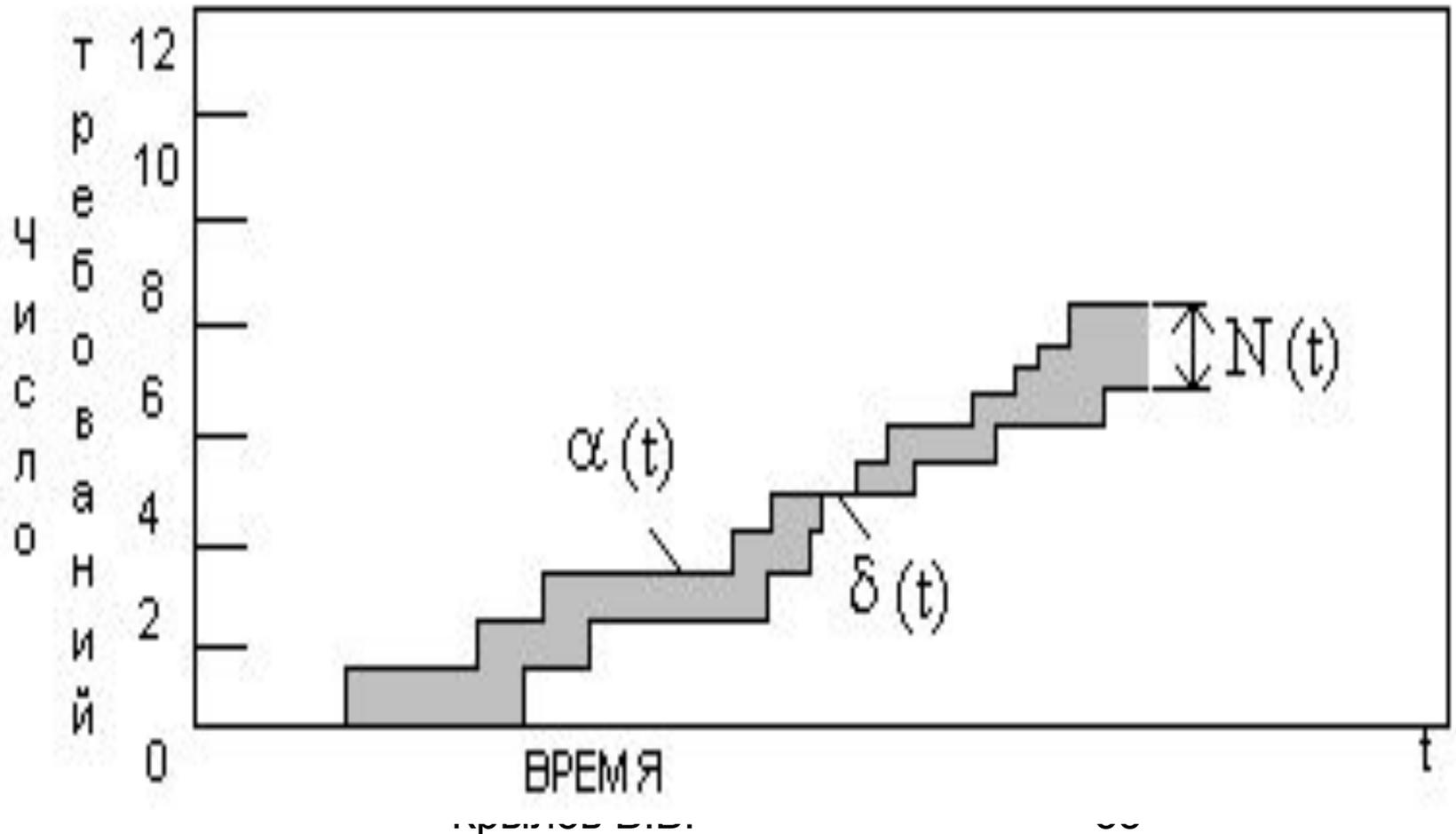
# Queuing System



# Диаграмма работы системы массового обслуживания.



# Поступающие, обслуженные и находящиеся в системе заявки в системе



# Формула Литтла

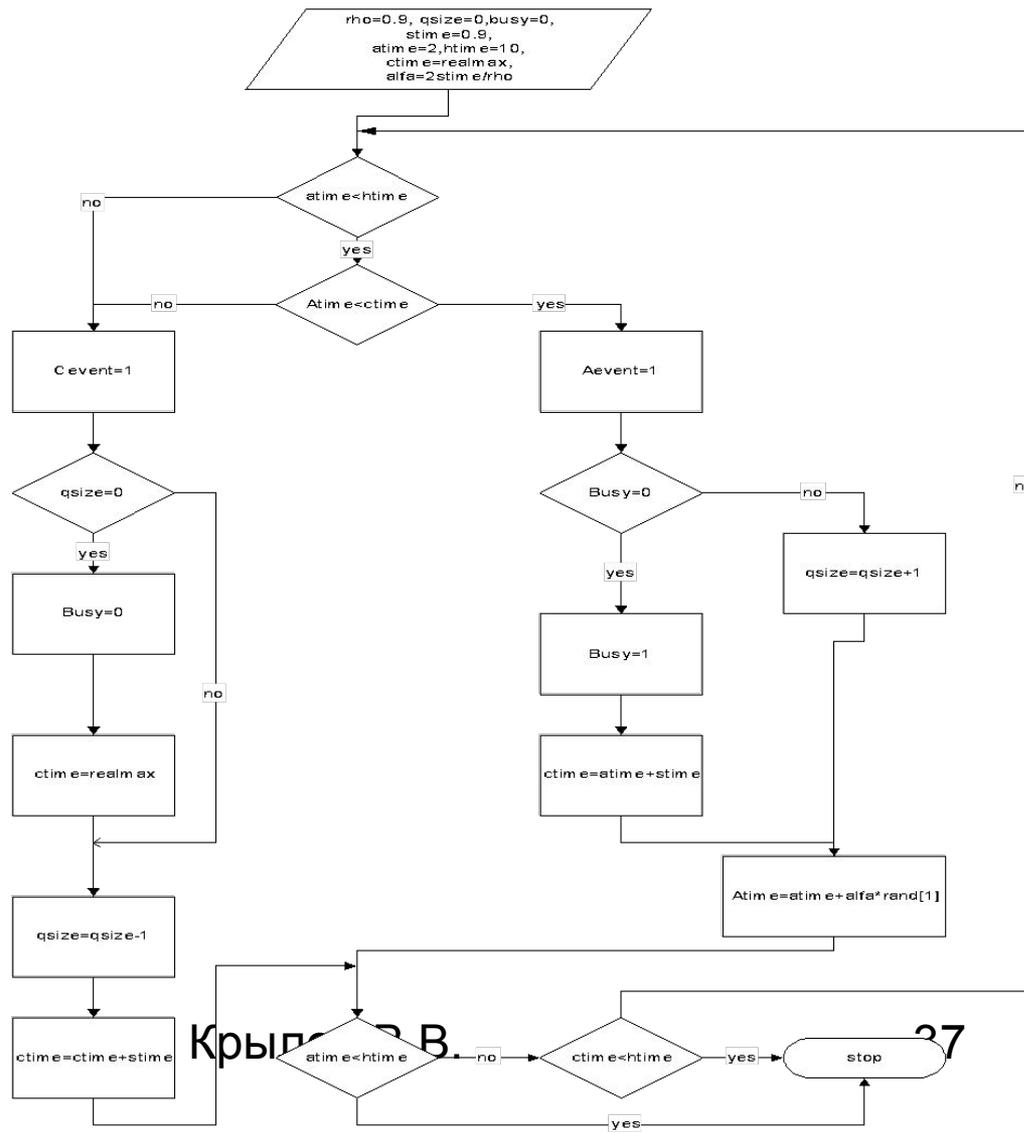
$$\overline{N} = \lambda T$$

$$\overline{N}_q = \lambda W$$

$$\overline{N}_s = \lambda \overline{x}$$

$$T = \overline{x} + W$$

# Блок-схема алгоритма имитационной модели U/D/1



```

roh=0.9
qsize=0
busy=0
ctime=realmax
stime=.90
htime=50
atime=2
alfa=2*stime./roh
while atime<=htime|ctime<=htime
  if atime<=htime&atime<=ctime
    aevent=1
    if busy==0
      busy=1
      ctime=atime+stime
    else
      qsize=qsize+1
    end
    atime= atime+alfa.*rand(1)
  else
    cevent=1
    if qsize==0
      busy=0
      ctime=realmax
    else
      qsize=qsize-1
      ctime=ctime+stime
    end
  end
end

```

# Моделирование события

***aevent=1***

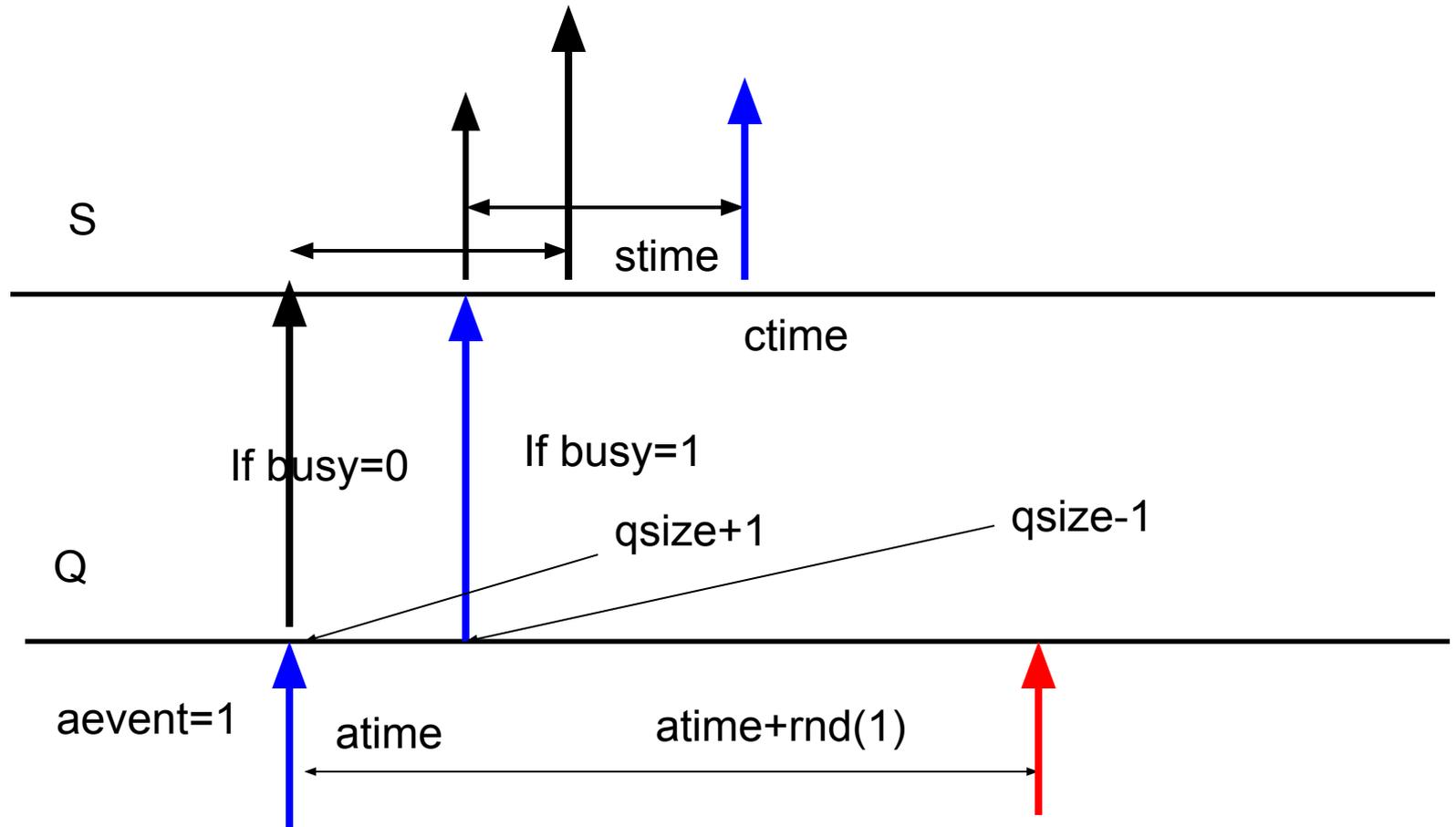
**atime=atime+alfa\*rand(1)**

**atime**

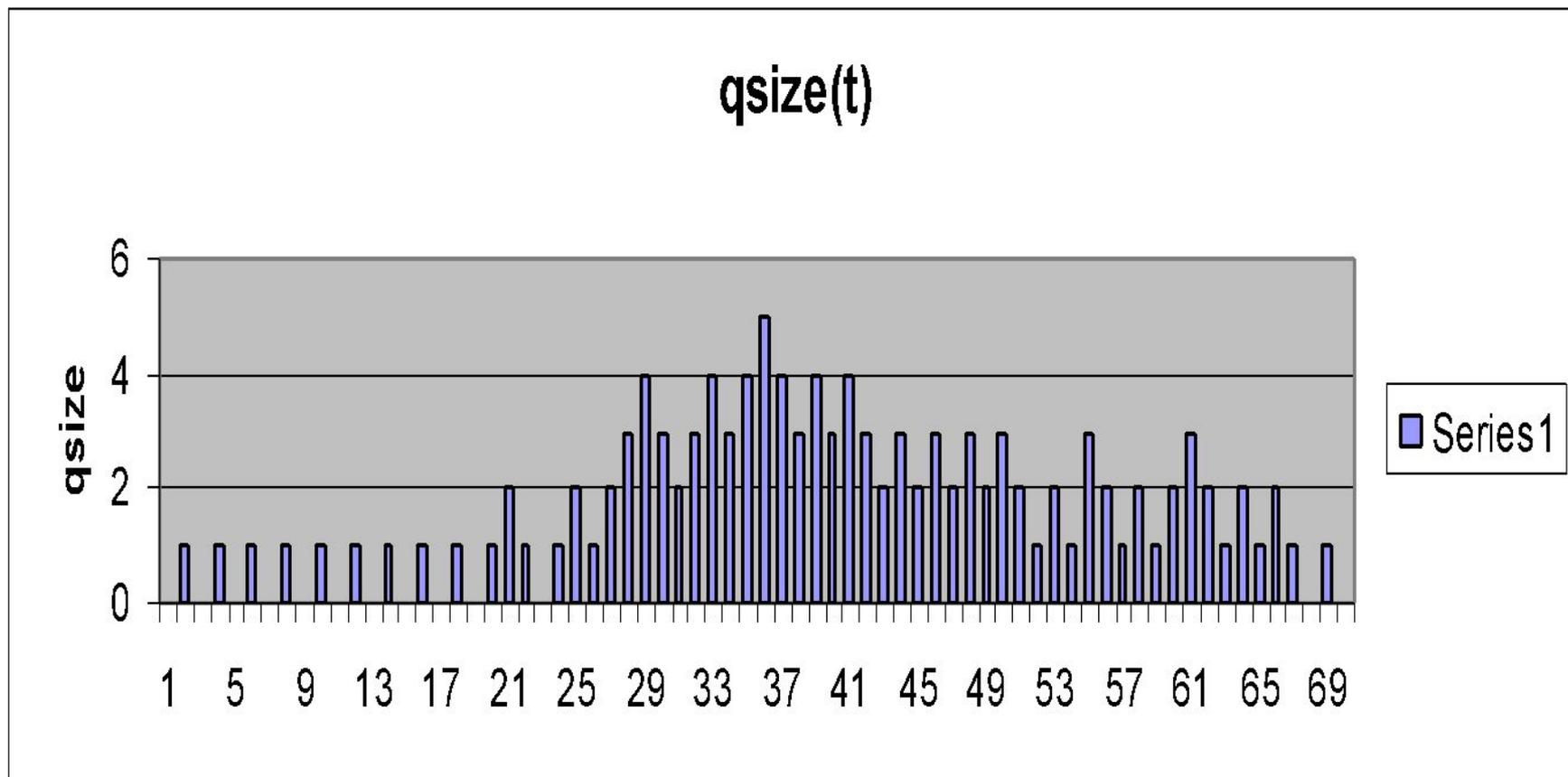
**htime**



# Диаграмма работы модели



# Динамика очереди



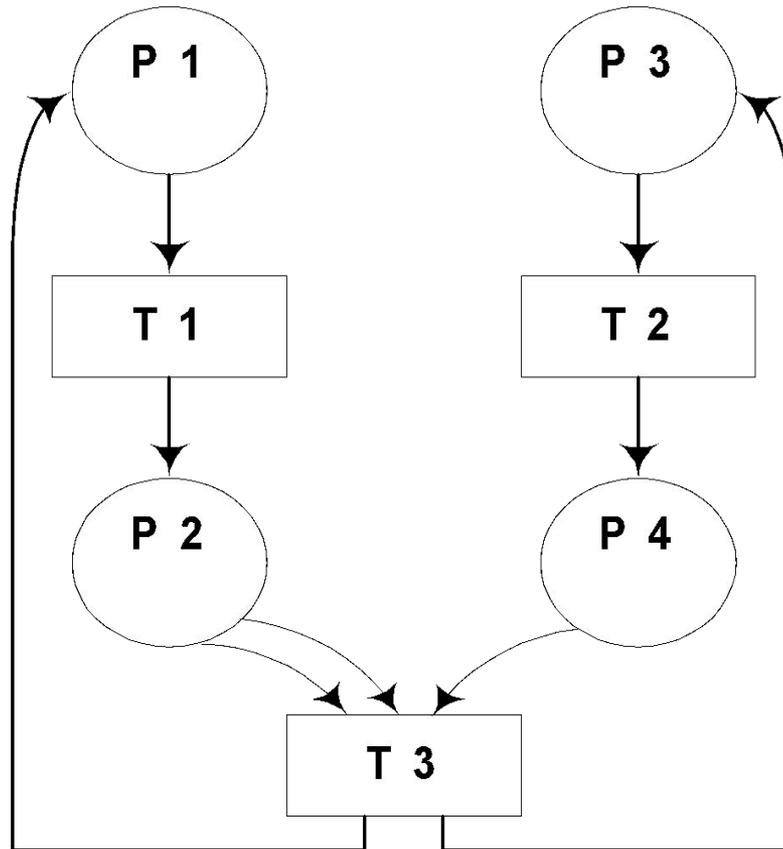
# *Основы моделирования средствами языка GPSS*

- Model Objects, Simulation Objects, Report Objects, Text Objects.
- blocks **label, operator, operand, comment**
- 10 ADVANCE 10,4
- GENERATE 5,,17
- <http://www.minutesoftman.com>

# U/D/1 GPSS Model

```
GENERATE 12,3  
QUEUE    IN_BUFFER  
SEIZE    ROUTER  
ADVANCE  10,0  
RELEASE  ROUTER  
TERMINATE 1
```

# Простая сеть Петри

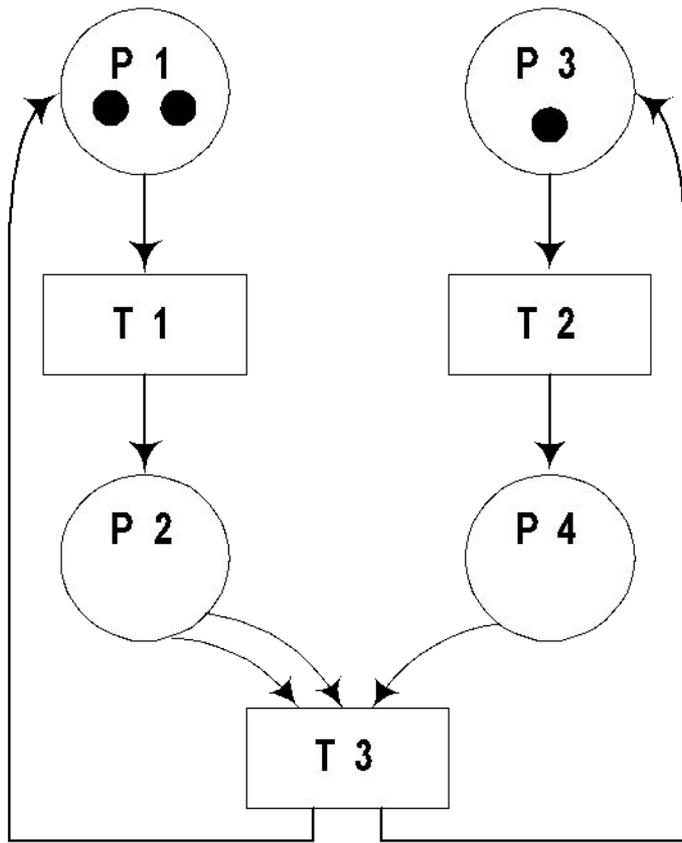


**В содержательном плане, переходы соответствуют событиям, присутствующим в исследуемой системе, а позиции – условиям их возникновения. Переход (событие) характеризуется определенным числом входных и выходных позиций, соответствующих предусловию и постусловию данного события. Совокупность переходов, позиций и дуг позволяет описать статическую систему. Для описания динамики, вводится еще один объект – так называемый маркер (token), или метка позиции, которая соответствует выполнению того или иного условия (обозначается точкой внутри позиции). Расположение маркеров в позициях называется разметкой сети. Переход считается активным, если в каждой его входной позиции есть хотя бы один маркер, что равносильно выполнению всех необходимых условий для наступления события. Наступление события в терминах сетей Петри представляется срабатыванием перехода, при этом маркеры из входных позиций изымаются и добавляются в каждую выходную позицию. Текущее состояние исследуемой системы определяется распределением маркеров по позициям сети, а динамика поведения системы отображается перемещением маркеров по позициям сети**

# Сети Петри как эффективная модель СМО

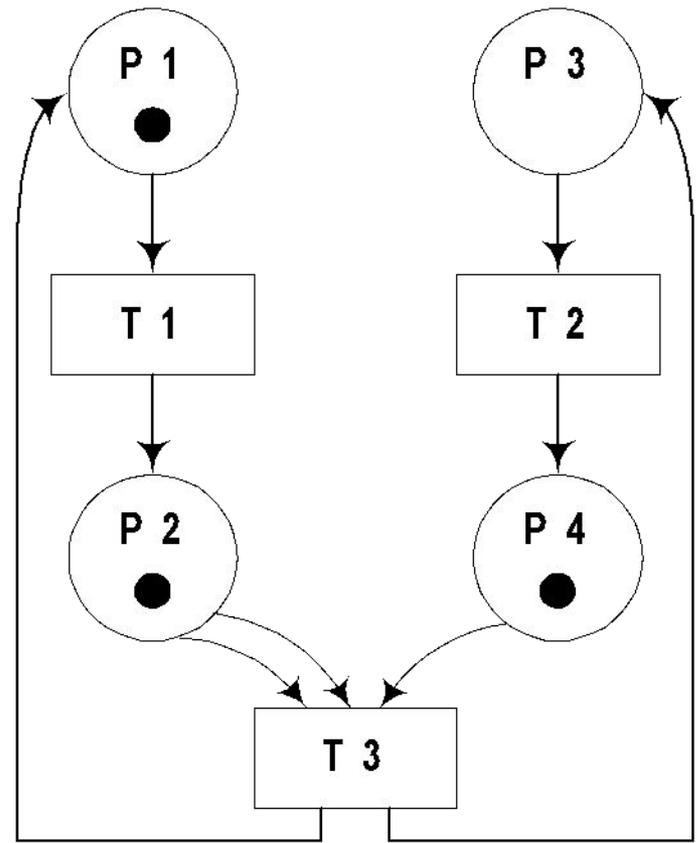
- При графической интерпретации сеть Петри представляет собой граф особого вида, состоящий из вершин двух типов – позиций (position) и переходов (transition), соединенных ориентированными дугами, причем каждая дуга может связывать лишь разнотипные вершины (позицию с переходом или переход с позицией). Вершины-позиции обозначаются кружками, вершины переходы – прямоугольниками (или черточками)

# Маркированная сеть Петри. Пример изменения разметки сети при срабатывании переходов



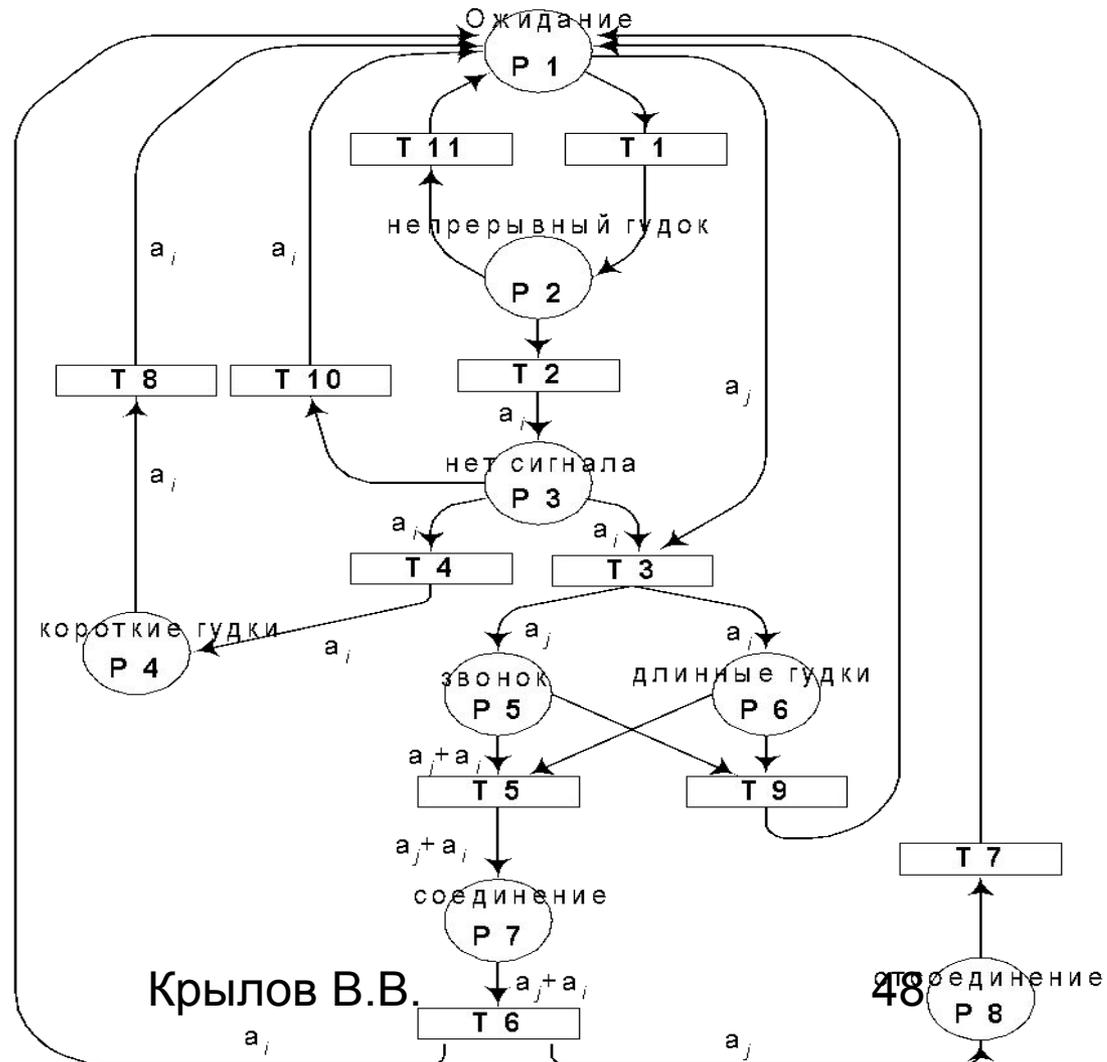
состояние 1

Крылов В.В.



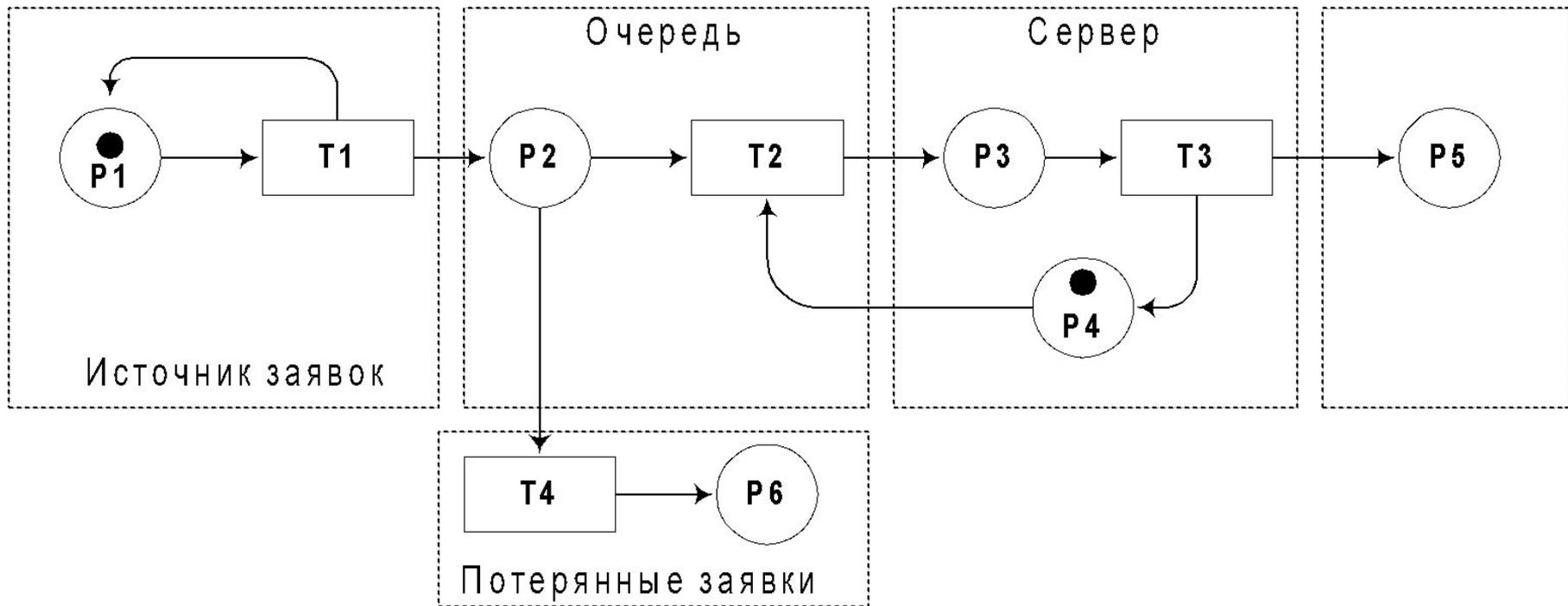
состояние 2

# Сеть Петри моделирующая поведение телефонного абонента со стороны пользователя



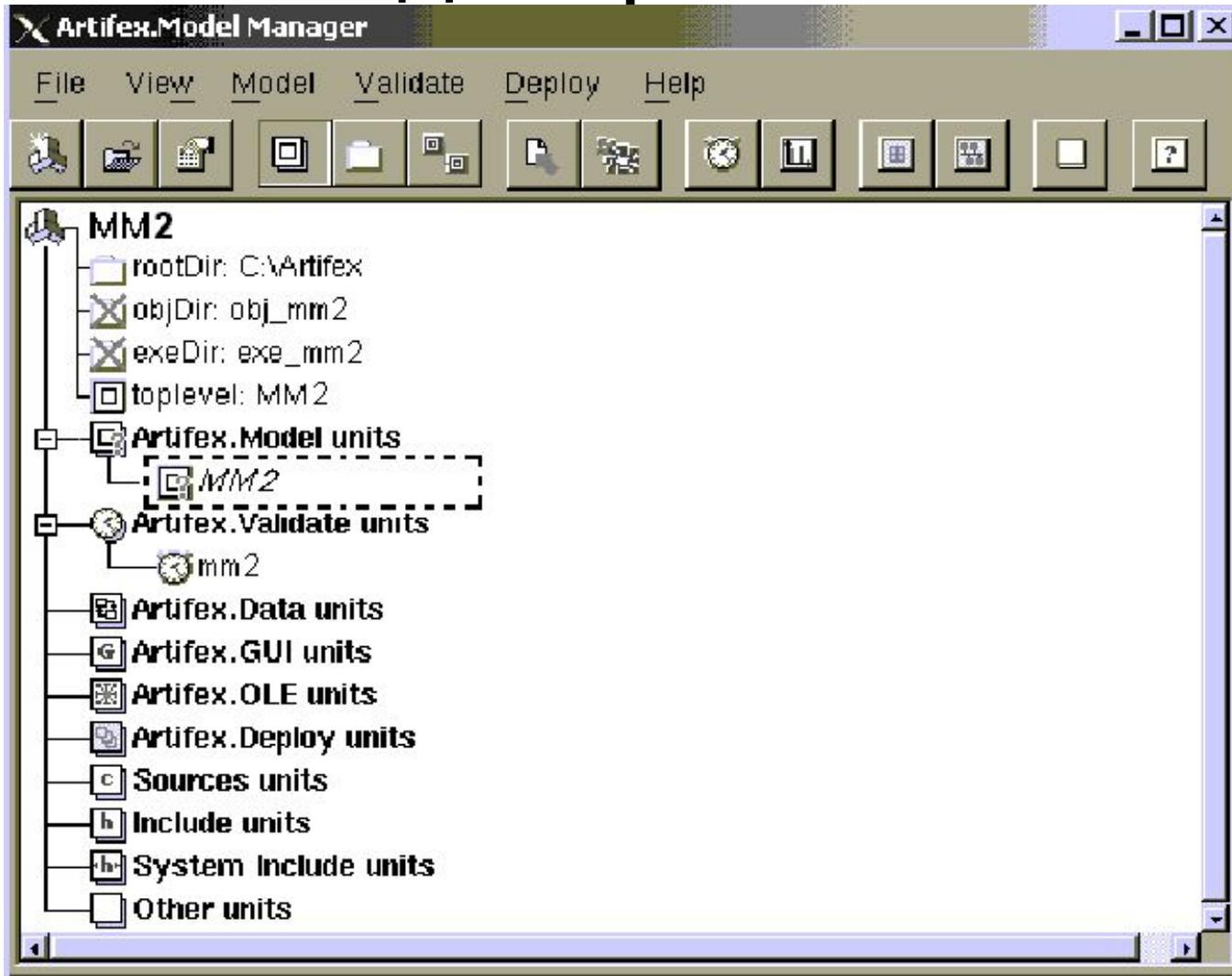


# Модель простейшей СМО в виде сети Петри

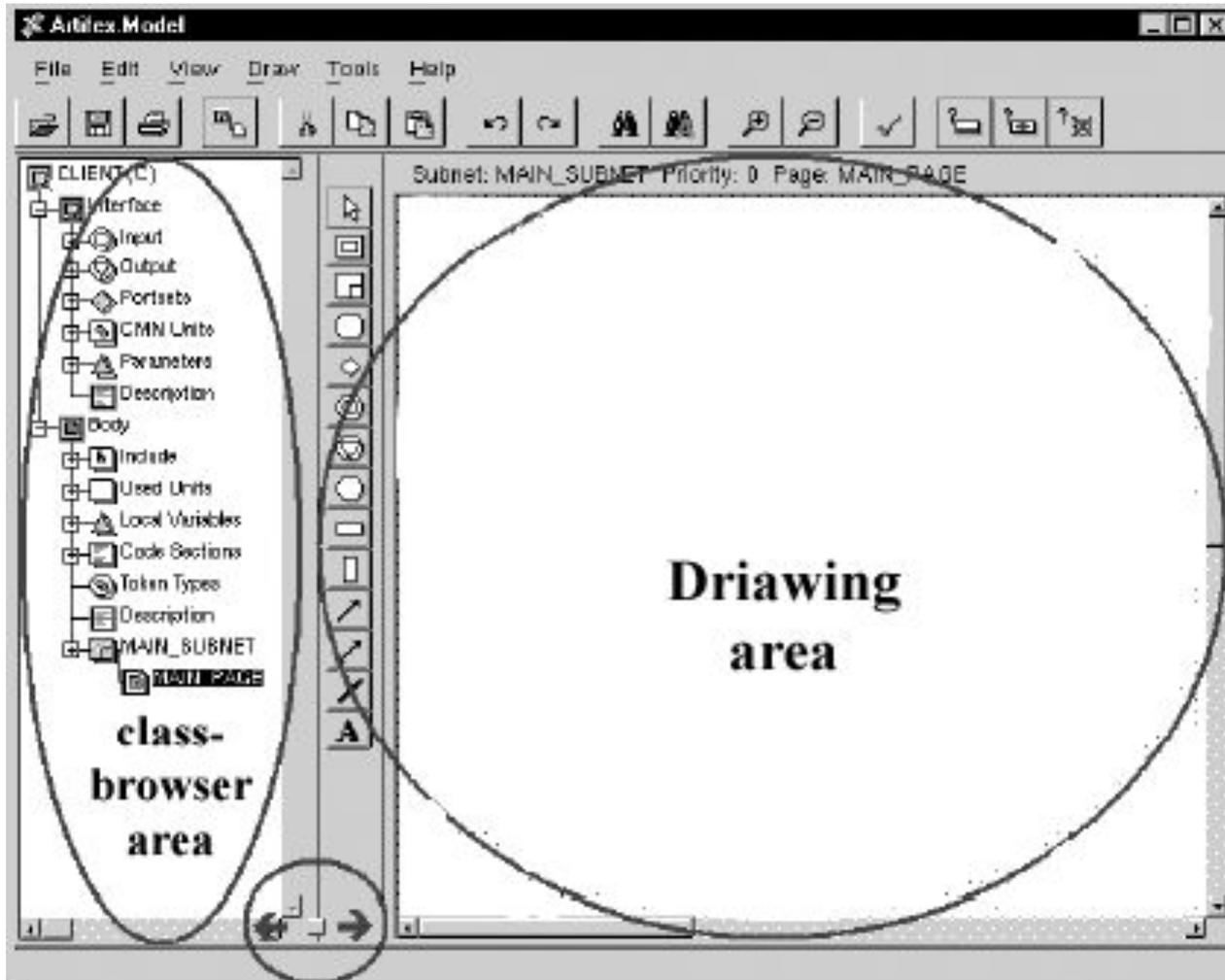


<a href="#">ALPHA/Sim</a>	Comm	High-level Petri Nets ; Petri Nets with Time - Graphical Editor; Token Game Animation; Fast Simulation; Simple Performance Analysis – SunOS; Solaris ; MS Windows NT
<a href="#">ARP</a>	Free of charge	Place/Transition Nets ; Petri Nets with Time - Fast Simulation; State Spaces; Place Invariants; Transition Invariants; Structural Analysis; Simple Performance Analysis - MS DOS
<a href="#">Artifex</a>	Comm. (acad. disc.)	Object-oriented PNs; High-level Petri Nets; Place/Transition Nets; Petri Nets with Time - Graphical Editor; Token Game Animation; Fast Simulation; Structural Analysis; Advanced Performance Analysis - Sun, SunOS; HP, HP-UX; Silicon Graphics, IRIX; PC, Linux; PC, MS Windows NT; PC, MS Windows 2000; PC, MS Windows XP
<a href="#">CoopnTools</a>	Free of charge	High-level Petri Nets - Graphical Editor; Fast Simulation; Structural Analysis – Java
<a href="#">CPN-AMI</a>	Free of charge	High-level Petri Nets; Place/Transition Nets - Graphical Editor; Fast Simulation; State Spaces; Place Invariants; Transition Invariants; Structural Analysis; services for modular modeling – Sun; Linux; Macintosh
Visual Petri	Free of charge	Отечественная разработки института теоретической механики РАИИ.
<a href="#">CPN Tools</a>	Free of charge	High-level Petri Nets; Petri Nets with Time - Graphical Editor; Token Game Animation; Fast Simulation; Interchange File Format - MS Windows

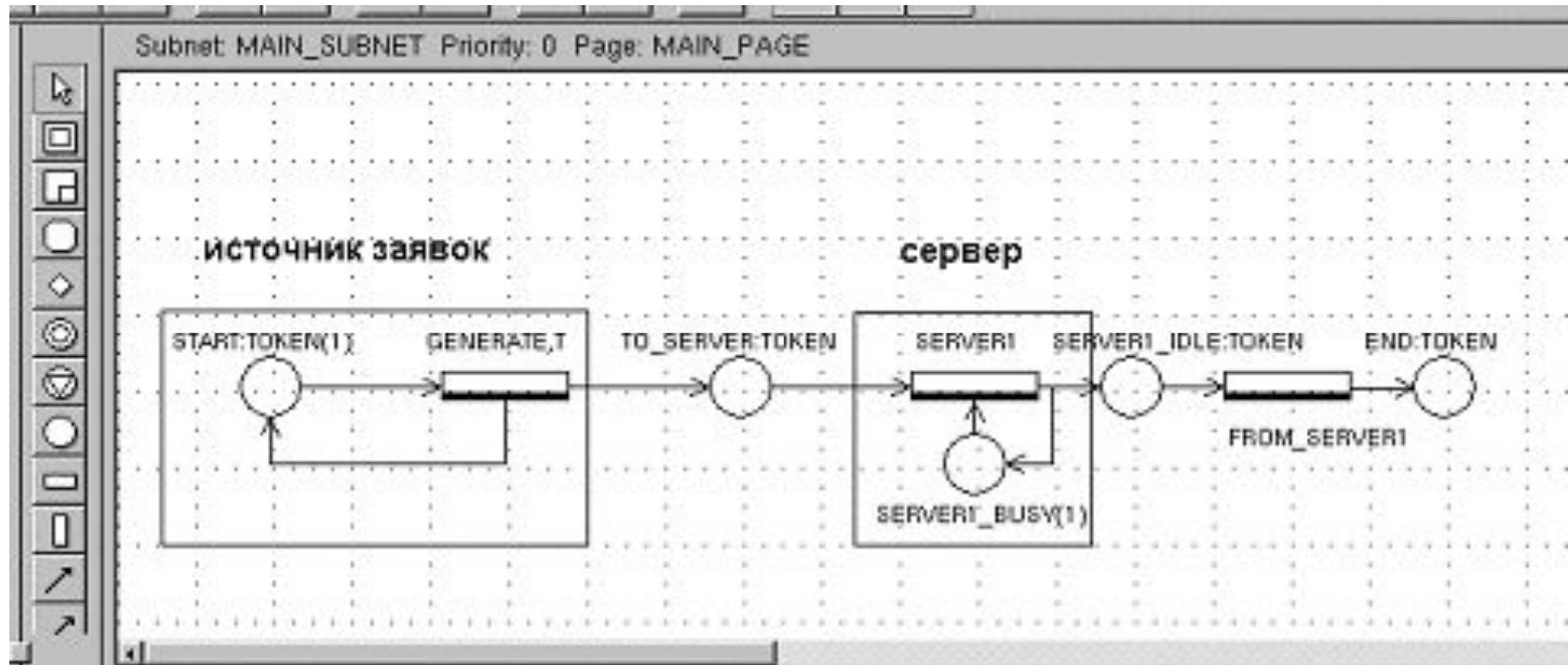
# Система моделирования Artifex



# Графический редактор моделей



# Графическая модель простейшей СМО в Artifex.



# Свойства перехода «GENERATE»

```
Transition GENERATE in MM1
```

Basic Attributes	Predicate	Action	Description
<pre>double value; double lambda = 10; value=xu_RndNExp(lambda); xx_fdelay(XT_GENERATE,value);  xx_copytoken(TO_SERVER,START);</pre>			

Line: 5      Column: 1

# Свойства перехода «SERVER1»

```
double value;  
double lambda =10.5;  
value=xu_RndNExp(lambda);  
xx_rdelay(XT_SERVER1,value);  
TO_SERVER->time1=xx_gettime();  
xx_copytoken(SERVER1_IDLE,TO_SERVER);
```

Line: 6      Column: 38

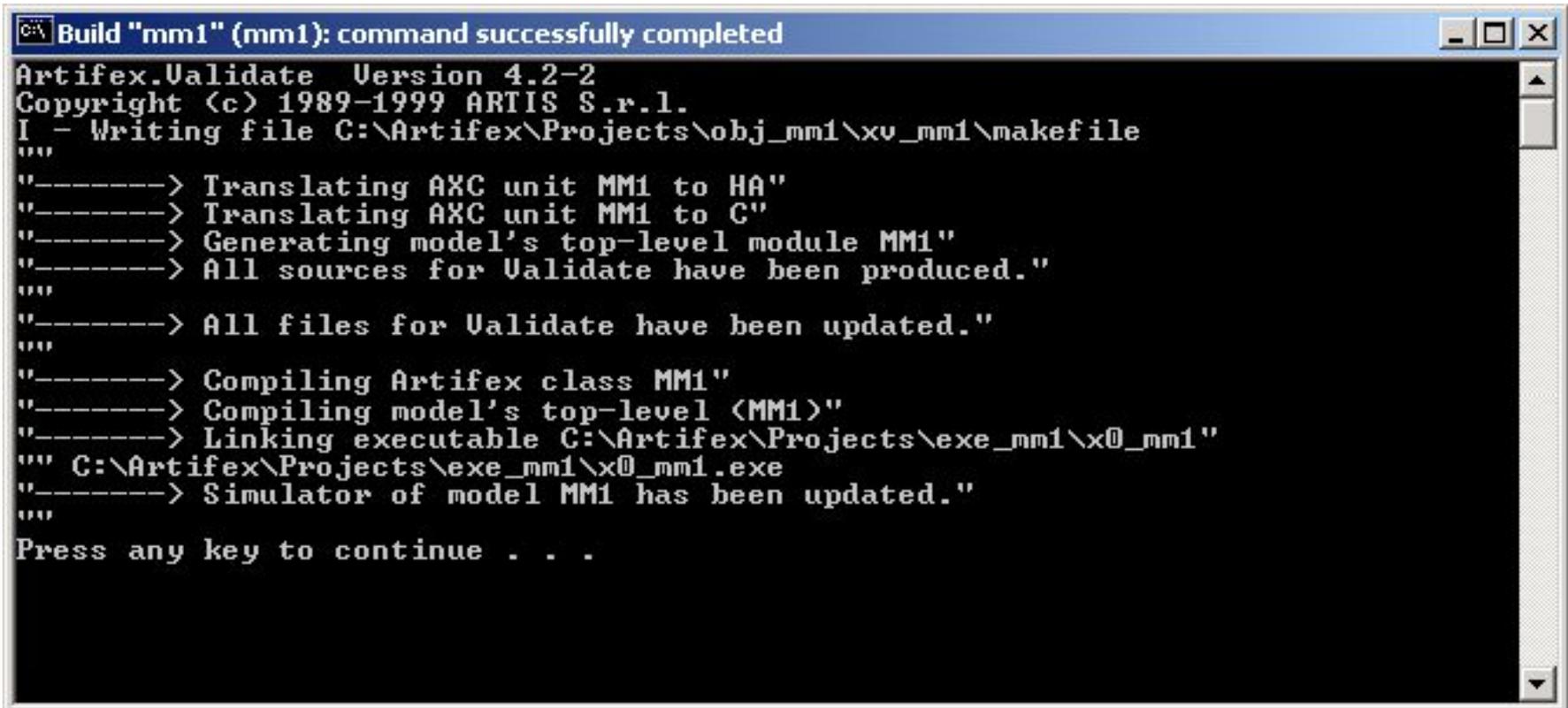
# Добавление пользовательского параметра измерения

The screenshot displays the Artifex Model: MM1 software interface. On the left, a tree view shows the project structure, with 'Local Variables' containing 'ms1\_id : int' and 'Initial actions' highlighted. The main workspace shows a Petri net diagram with places (START:TOKEN(1), TO\_SERVER:TOKEN, SERVER1\_IDLE:TOKEN, END:TOKEN) and transitions (GENERATE,T, SERVER1, SERVER1\_BUSY(1), FROM\_SERVER1). A dialog box titled 'Initial actions of class MM1' is open, showing a code editor with the following text:

```
XX->ms1_id=xx_initmeasure("Service time for Server1");
```

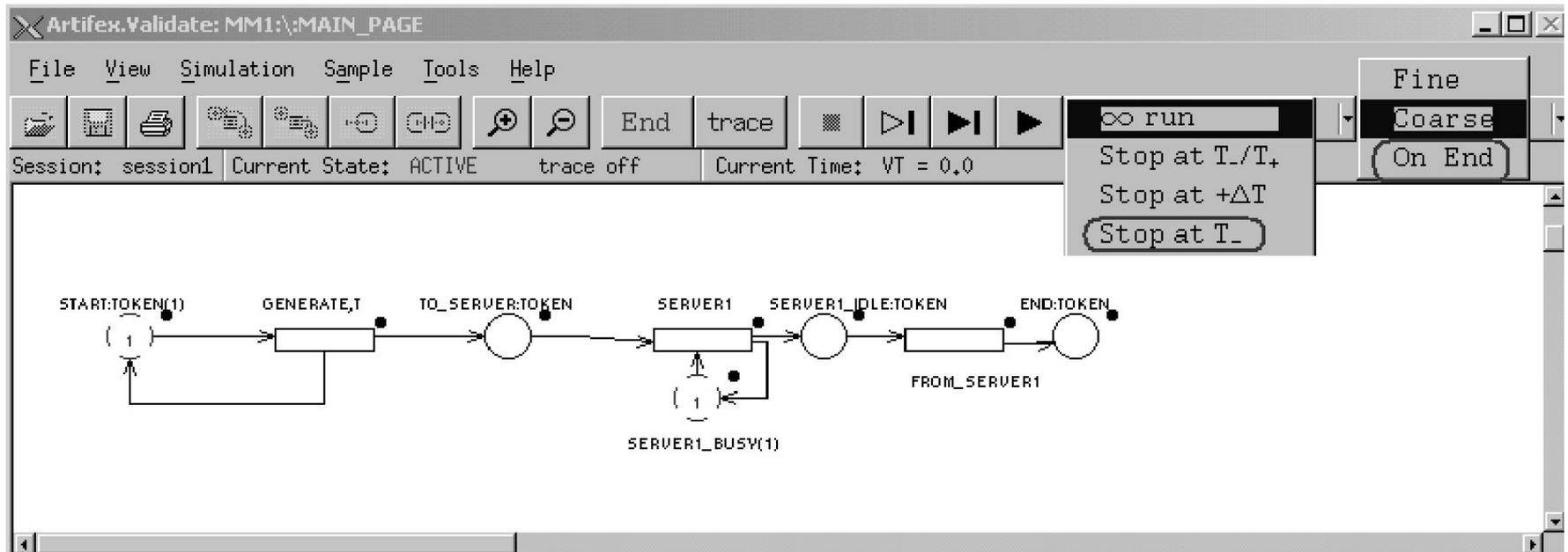
The dialog box also shows 'Line: 1' and 'Column: 1' and has buttons for 'Ok', 'Print...', 'Cancel', and 'Help'.

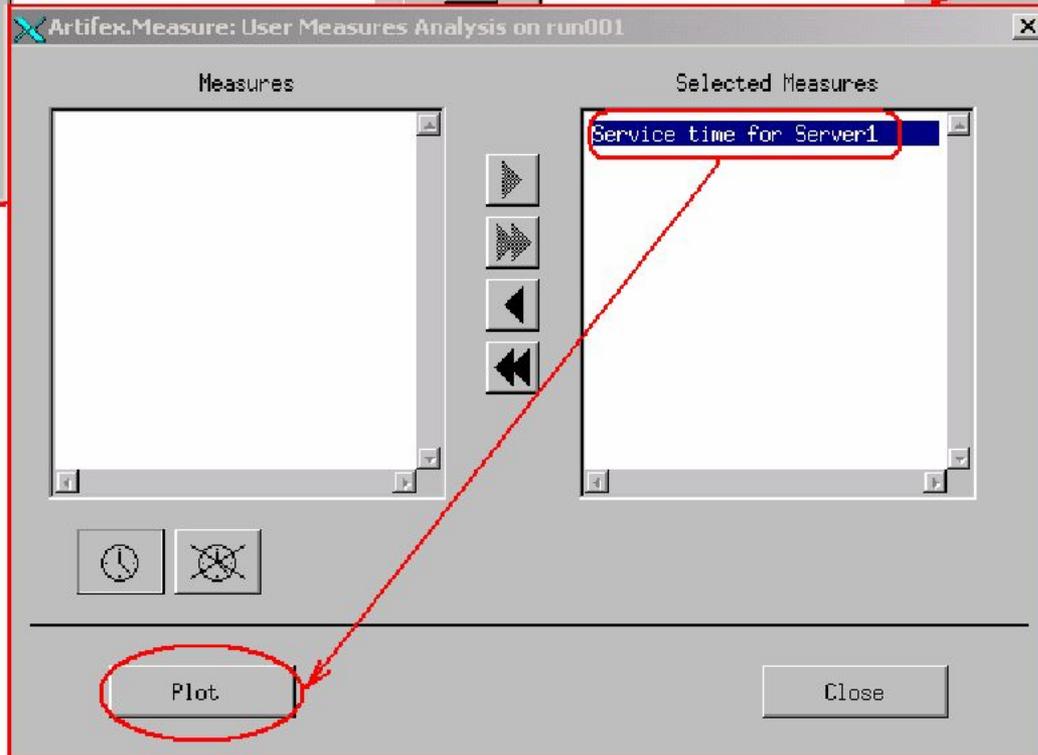
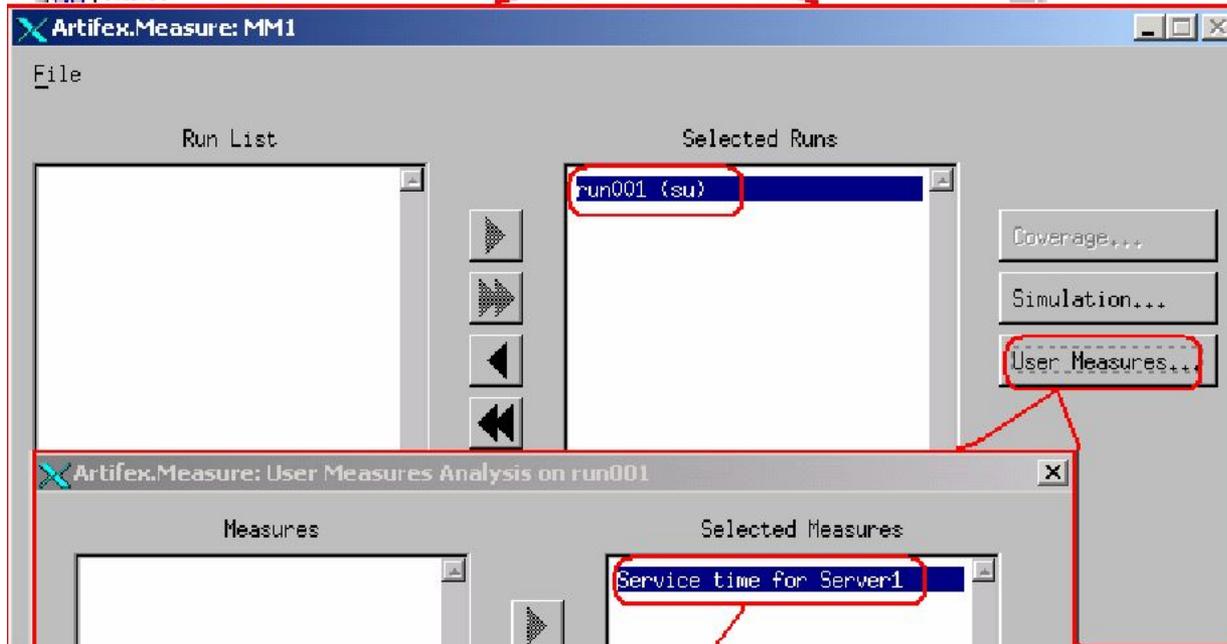
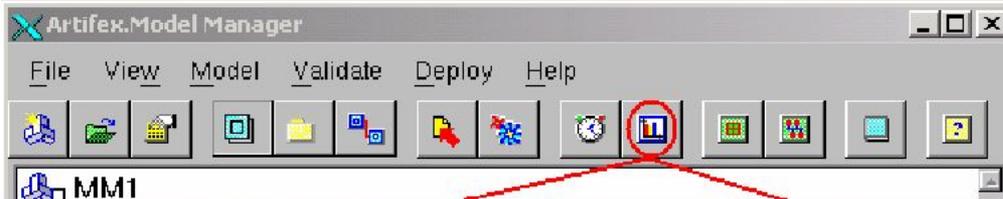
# Окно вывода информации о КОМПИЛЯЦИИ МОДЕЛИ



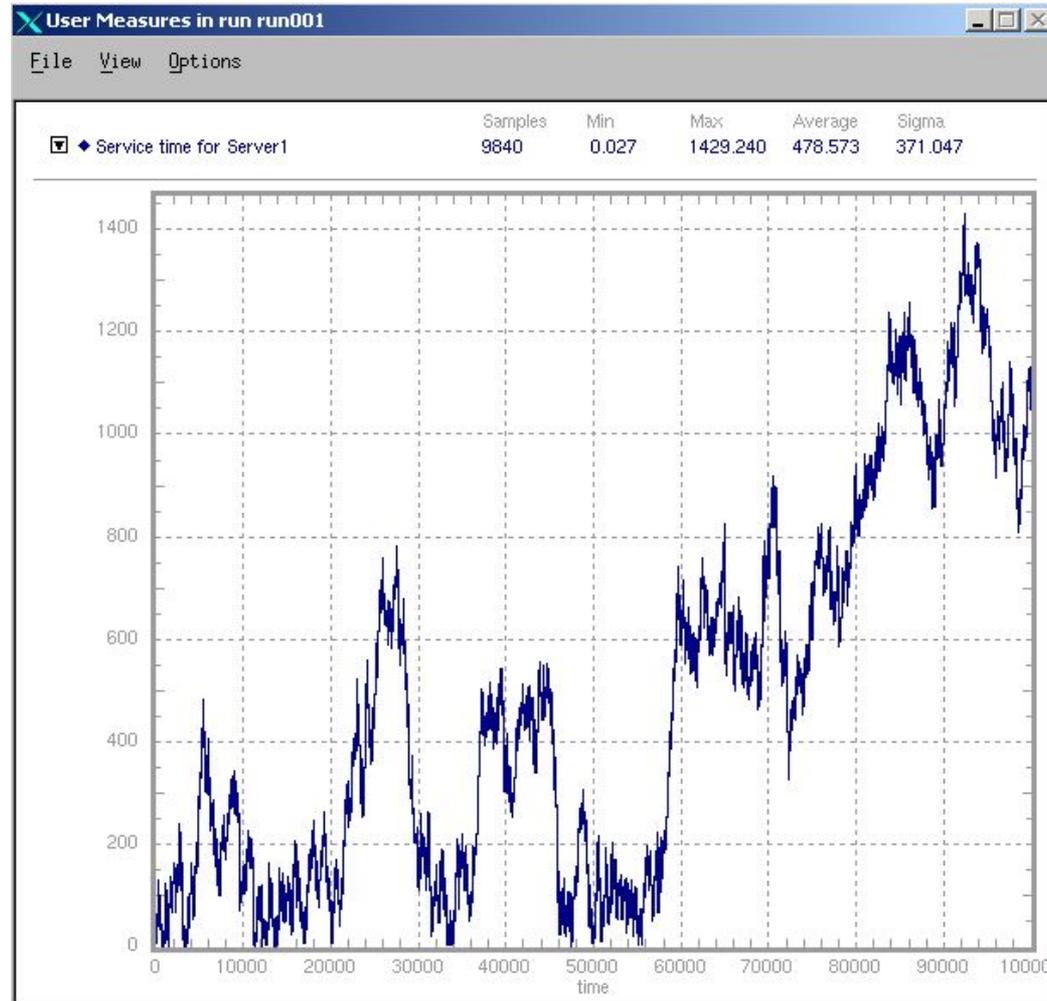
```
C:\ Build "mm1" (mm1): command successfully completed
Artifex.Validate Version 4.2-2
Copyright (c) 1989-1999 ARTIS S.r.l.
I - Writing file C:\Artifex\Projects\obj_mm1\yv_mm1\makefile
""
"-----> Translating AXC unit MM1 to HA"
"-----> Translating AXC unit MM1 to C"
"-----> Generating model's top-level module MM1"
"-----> All sources for Validate have been produced."
""
"-----> All files for Ualidate have been updated."
""
"-----> Compiling Artifex class MM1"
"-----> Compiling model's top-level <MM1>"
"-----> Linking executable C:\Artifex\Projects\exe_mm1\x0_mm1"
"" C:\Artifex\Projects\exe_mm1\x0_mm1.exe
"-----> Simulator of model MM1 has been updated."
""
Press any key to continue . . .
```

# Среда моделирования СИМ Artifex

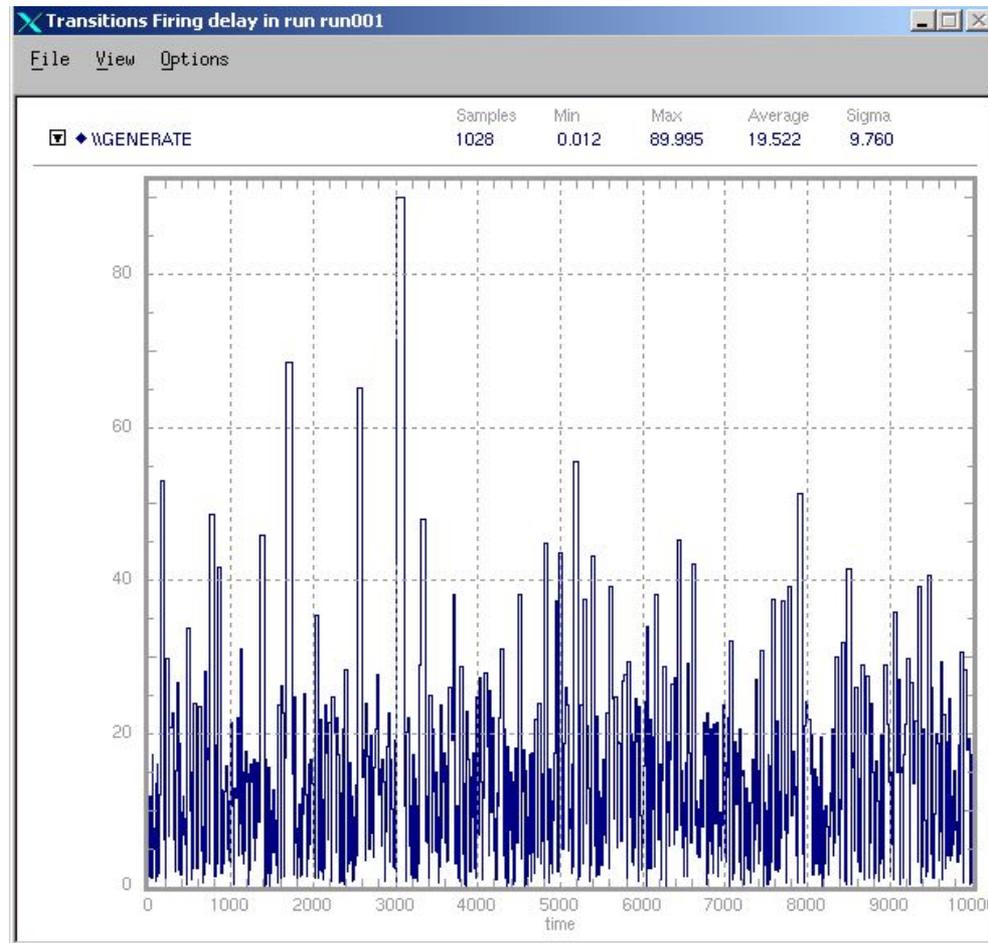




# График параметра “service time for server1”



# Статистика по задержке между двумя маркерами для перехода Generate.



# Статистика по времени ожидания маркеров в позиции TO\_SERVER

