

# «Моделирование»

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

---

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

*Факультет программной инженерии и компьютерной техники*

# **5. Сетевые модели дискретных систем**

## 5. СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ

1. Классификация сетевых моделей
2. Параметры сетевых моделей
3. Характеристики сетевых моделей
4. Расчет коэффициентов передач и интенсивностей потоков заявок в узлах РСМО
5. Расчет характеристик разомкнутых СеМО
6. Пример расчета характеристик разомкнутых СеМО
7. Алгоритм расчета характеристик замкнутых СеМО
8. Пример расчета характеристик замкнутых СеМО
9. Марковская модель замкнутой СеМО
10. Свойства СеМО
11. GPSS-модель двухузловой разомкнутой СеМО
12. GPSS-модель многоузловой разомкнутой СеМО
13. GPSS-модель замкнутой СеМО

### Литература

#### для самостоятельной подготовки

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

**(Введение / Раздел 4, параграфы 4.4; 4.5. Раздел 6, пункты 6.7.9, 6.7.10, 6.7.11)**

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

# Литература

## для самостоятельной подготовки

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

**(раздел 3 «Математические модели дискретных систем», параграфы 3.2 и 3.4;  
раздел 4 «Аналитическое моделирование», параграфы 4.4 и 4.5;  
раздел 6 «Имитационное моделирование», параграф 6.7)**

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

2. Алиев Т.И., Муравьева-Витковская Л.А., Соснин В.В. Моделирование: задачи, задания, тесты. Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2011. – 197 с.

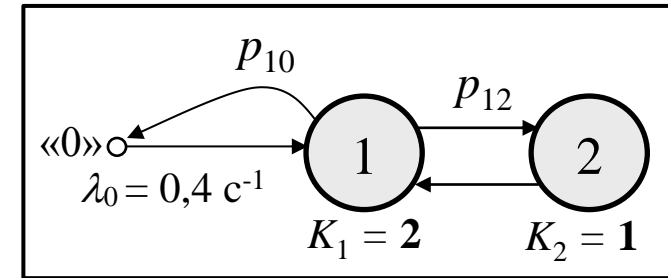
**(раздел 1 параграф 1.3; раздел 2 параграф 2.3; раздел 4 параграфы 4.4, 4.5, 4.6)**

[https://books.ifmo.ru/book/686/modelirovanie\\_zadachi\\_zadaniya\\_testy.htm](https://books.ifmo.ru/book/686/modelirovanie_zadachi_zadaniya_testy.htm)

## 5. Сетевые модели дискретных систем

### GPSS-модель двухузловой разомкнутой СеМО

Uz\_1      STORAGE      2; *число приборов в узле 1*  
 Tw\_1      QTABLE      1,0,1,20; *время ожидания в узле 1*  
 Tw\_2      QTABLE      2,50,50,20; *время ожидания в узле 2*  
 T\_U      TABLE      M1,150,150,20; *время пребывания в сети*  
 \*\*\*\*\*



Met\_1      GENERATE      (Exponential(10,0,2500))  
             QUEUE      1; *регистрация момента поступления заявки в очередь узла 1*  
             ENTER      Uz\_1; *попытка занять один из приборов узла 1*  
             DEPART      1  
             ADVANCE      24,12  
             LEAVE      Uz\_1; *выход обслуженной заявки из узла 1*

	0	1	2
0		1	
1	0,01		0,99
2		1	

$$b_1 = 0,024 \pm 0,012 \text{ с}$$

$$b_2 = 0,02 \text{ с (E}_2\text{)}$$

Met\_2      QUEUE      2; *регистрация момента поступления заявки в очередь узла 2*  
             SEIZE      2; *попытка занять прибор узла 2*  
             DEPART      2  
             ADVANCE      (Exponential(50,0,10)+Exponential(150,0,10))  
             RELEASE      2; *освобождение прибора и выход заявки из узла 2*

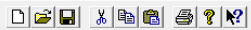
\*\*\*\*\*  
 START      1000000; *запуск модели*

**TRANSFER A,[B],C**  
**TRANSFER ,B**

## 5. Сетевые модели дискретных систем

# GPSS-модель двухузловой разомкнутой CeMO

GPSS World - Untitled Model 1.4.1 - REPORT:3  
File Edit Search View Command Window Help



Untitled Model 1

```

Uz_1 STORAGE 2
Tw_1 QTABLE 1,0,1,20
Tw_2 QTABLE 2,50,50,20
T_U TABLE M1,150,150,20
*****
GENERATE (Exponential(10,0,2500))
Met_1 QUEUE 1
ENTER Uz_1
DEPART 1
ADVANCE 24,12
LEAVE Uz_1
TRANSFER 990,,Met_2
TABULATE T_U
TERMINATE 1
*****
Met_2 QUEUE 2
SEIZE 2
DEPART 2
ADVANCE (Exponential(50,0,10)+Exponential(150,0,10))
RELEASE 2
TRANSFER ,Met_1
    
```

Diagram illustrating a two-node open queueing system (CeMO) with nodes 1 and 2. The arrival rate is  $\lambda_0 = 0,4 \text{ c}^{-1}$ . The service rates are  $K_1 = 2$  and  $K_2 = 1$ . The probabilities of moving from node 1 to node 2 is  $p_{12} = 0,99$  and from node 2 to node 1 is  $p_{10} = 0,01$ . The service times are  $b_1 = 0,024 \text{ c}$  and  $b_2 = 0,02 \text{ c}$ .

Untitled Model 1.4.1 - REPORT

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
2	9876989	0.791	19.999	100000	0	0	0	0	3

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
1	8	0	9976992	7883686	0.079	1.988	9.475	0
2	65	3	9876992	1961866	2.913	73.691	91.957	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
UZ_1	2	2	0	2	9976992	1	0.958	0.479	0	0

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM. %
Tw_1	1.988	5.256	-	0	7883745	79.02
			0.000 -		151101	80.53
			1.000 -		147218	82.01
			2.000 -		143493	83.45
			3.000 -		139176	84.84

Untitled Model 1.4.2 - REPORT

GPSS World Simulation Report - Untitled Model 1.4.2

Wednesday, November 24, 2021 23:48:47

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	498967769.880	15	1	1

NAME	VALUE
MET_1	2.000
MET_2	10.000
Tw_1	10001.000
Tw_2	10002.000
T_U	10003.000
UZ_1	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
MET_1	1	GENERATE	200000	0	0
	2	QUEUE	20041189	0	0
	3	ENTER	20041189	0	0
	4	DEPART	20041189	0	0
	5	ADVANCE	20041189	0	0
	6	LEAVE	20041189	0	0
	7	TRANSFER	20041189	0	0
	8	TABULATE	200000	0	0
	9	TERMINATE	200000	0	0
MET_2	10	QUEUE	19841189	0	0
	11	SEIZE	19841189	0	0
	12	DEPART	19841189	0	0
	13	ADVANCE	19841189	0	0
	14	RELEASE	19841189	0	0
	15	TRANSFER	19841189	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
2	19841189	0.795	19.998	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
1	8	0	20041189	1581068	0.080	2.003	9.486	0
2	65	0	19841189	3877251	2.975	74.822	92.994	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
UZ_1	2	2	0	2	20041189	1	0.964	0.482	0	0

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM. %
Tw_1	2.003	5.291	-	0	15810641	78.89
			0.000 -		305009	80.41
			1.000 -		297452	81.90

For Help, press F1 Report is Complete.

Clock

## 5. Сетевые модели дискретных систем

### GPSS-модель многоузловой разомкнутой СеМО

\* *Модуль 1: моделирование процессов поступления и обслуживания заявок в узле 1*

```
Met_1  GENERATE      (Exponential(10,0,100))
        SEIZE        1
        ADVANCE      10
        RELEASE      1
        TRANSFER      600,,Met_0; передача заявки с вероятностью 0,6 в узел «0»
        TRANSFER      .3,,Met_3; передача заявки с вероятностью 0,3 в узел 3
```

\*\*\*\*\*

\* *Модуль 2: моделирование процесса обслуживания заявок в узле 2*

```
Met_2  SEIZE        2
        ADVANCE      20
        RELEASE      2
        TRANSFER      ,Met_1; безусловная передача транзакта в узел 1
```

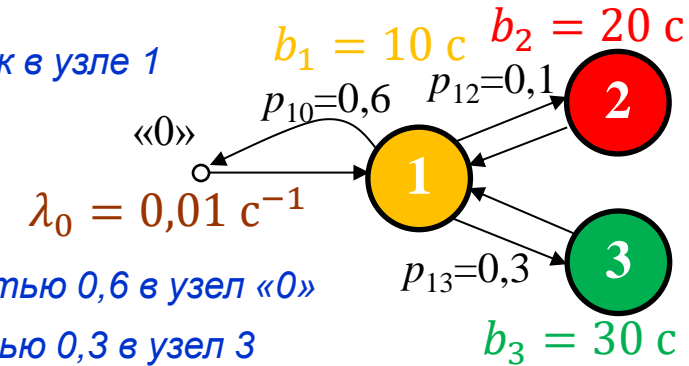
\*\*\*\*\*

\* *Модуль 3: моделирование процесса обслуживания заявок в узле 3*

```
Met_3  SEIZE        3
        ADVANCE      30
        RELEASE      3
        TRANSFER      ,Met_1; безусловная передача транзакта в узел 1
```

\*\*\*\*\*

```
Met_0  TERMINATE    1; удаление из модели обслуженной заявки
```



	0	1	2	3
0		1		
1	0,6		0,1	0,3
2		1		
3		1		

$$\left. \begin{aligned} \alpha_0 &= 0,6\alpha_1 \\ \alpha_2 &= 0,1\alpha_1 \\ \alpha_3 &= 0,3\alpha_1 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= 1,667 \\ \alpha_2 &= 0,167 \\ \alpha_3 &= 0,501 \end{aligned} \right\}$$

## 5. Сетевые модели дискретных систем

### GPSS-модель многоузловой разомкнутой CeMO

Untitled Model 2.1.2 - REPORT

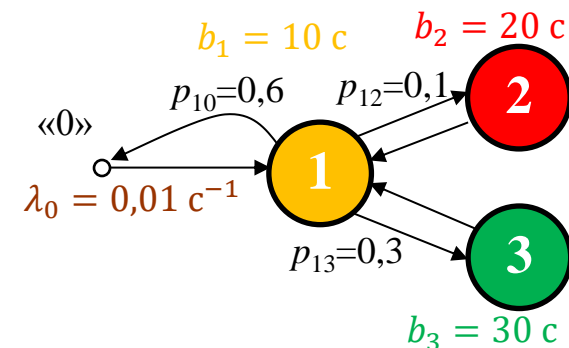
LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	1000000	0	0
MET_1	2	SEIZE	1665037	0	0
	3	ADVANCE	1665037	0	0
	4	RELEASE	1665037	0	0
	5	TRANSFER	1665037	0	0
	6	TRANSFER	665037	0	0
MET_2	7	SEIZE	465642	0	0
	8	ADVANCE	465642	0	0
	9	RELEASE	465642	0	0
	10	TRANSFER	465642	0	0
MET_3	11	SEIZE	199395	0	0
	12	ADVANCE	199395	0	0
	13	RELEASE	199395	0	0
	14	TRANSFER	199395	0	0
MET_0	15	TERMINATE	1000000	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
1	1665037	0.166	10.000	1	0	0	0	0	0
2	465642	0.093	20.000	1	0	0	0	0	0
3	199395	0.060	30.000	1	0	0	0	0	0

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
1000001	0	100035564.348	1000001	0	1		



$$\alpha_1 = \frac{1665037}{1000000} \approx 1,665 \quad (1,667)$$

$$\alpha_2 = \frac{465642}{1000000} \approx 0,466 \quad (0,167)$$

$$\alpha_3 = \frac{199395}{1000000} \approx 0,199 \quad (0,501)$$

$$\rho_2 > \rho_3$$

???

$$\alpha_2 > \alpha_3 ?$$



## 5. Сетевые модели дискретных систем

### GPSS-модель многоузловой разомкнутой CeMO

\* *Модуль 1: моделирование процессов поступления и обслуживания заявок в узле 1*

Met_1	GENERATE	(Exponential(10,0,100))
	SEIZE	1
	ADVANCE	10
	RELEASE	1
	TRANSFER	600,,Met_0; <i>передача заявки с вероятн. 0,6 в узел «0»</i>
	<del>TRANSFER</del>	<del>.3,,Met_3; <i>передача заявки с вероятн. 0,3 в узел 3</i></del>
	TRANSFER	750,,Met_3; <i>передача заявки с вероя. 0,75 в узел 3</i>

\*\*\*\*\*

\* *Модуль 2: моделирование процесса обслуживания заявок в узле 2*

Met_2	SEIZE	2
	ADVANCE	20
	RELEASE	2
	TRANSFER	,Met_1; <i>безусловная передача транзакта в узел 1</i>

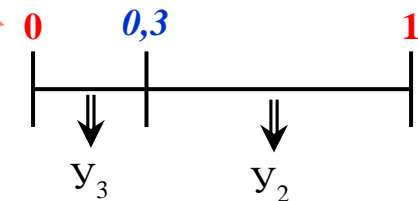
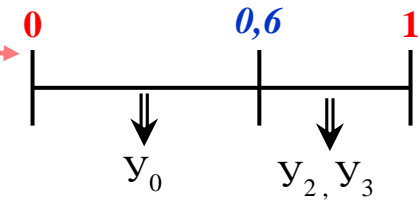
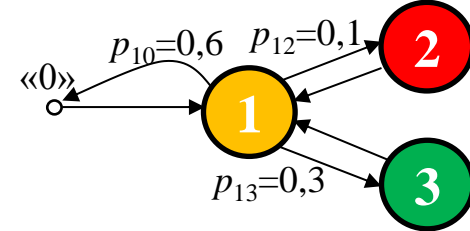
\*\*\*\*\*

\* *Модуль 3: моделирование процесса обслуживания заявок в узле 3*

Met_3	SEIZE	3
	ADVANCE	30
	RELEASE	3
	TRANSFER	,Met_1; <i>безусловная передача транзакта в узел 1</i>

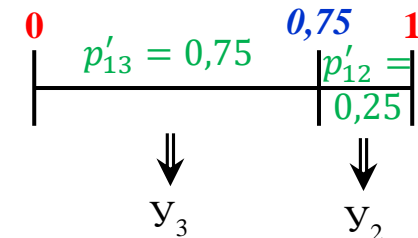
\*\*\*\*\*

Met_0	TERMINATE	1; <i>удаление из модели обслуженной заявки</i>
-------	-----------	---



**Нормировка:**

$$A(p_{12} + p_{13}) = 1 \rightarrow A = 2,5$$



## 5. Сетевые модели дискретных систем

### GPSS-модель многоузловой разомкнутой CeMO

Untitled Model 2.1.2 - REPORT **Было**

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT
	1	GENERATE	1000000
MET_1	2	SEIZE	1665037
	3	ADVANCE	1665037
	4	RELEASE	1665037
	5	TRANSFER	1665037
	6	TRANSFER	665037
MET_2	7	SEIZE	465642
	8	ADVANCE	465642
	9	RELEASE	465642
	10	TRANSFER	465642
MET_3	11	SEIZE	199395
	12	ADVANCE	199395
	13	RELEASE	199395
	14	TRANSFER	199395
MET_0	15	TERMINATE	1000000

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL. C
1	1665037	0.166	10.000	1
2	465642	0.093	20.000	1
3	199395	0.060	30.000	1

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT
1000001	0	100035564.348	1000001	0	1

Untitled Model 2.2.1 - REPORT **Стало**

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT C
	1	GENERATE	1000000
MET_1	2	SEIZE	1666051
	3	ADVANCE	1666051
	4	RELEASE	1666051
	5	TRANSFER	1666051
	6	TRANSFER	666051
MET_2	7	SEIZE	166475
	8	ADVANCE	166475
	9	RELEASE	166475
	10	TRANSFER	166475
MET_3	11	SEIZE	499576
	12	ADVANCE	499576
	13	RELEASE	499576
	14	TRANSFER	499576
MET_0	15	TERMINATE	1000000

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL. OW
1	1666051	0.167	10.000	1
2	166475	0.033	20.000	1
3	499576	0.150	30.000	1

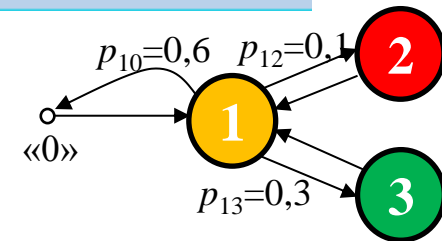
  

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	F
1000001	0	100035564.348	1000001	0	1	1

$$\alpha_1 = \frac{1666051}{1000000} \approx 1,666 \text{ (1.667)} \quad \alpha_2 = \frac{166475}{1000000} \approx 0,166 \text{ (0,167)} \quad \alpha_3 = \frac{499576}{1000000} \approx 0,50 \text{ (0,501)}$$

$$\alpha_3 \approx 3\alpha_2 !$$

$$\rho_3 = 0,150/0,033 \approx 4,55\rho_2 !$$



## 5. Сетевые модели дискретных систем

### GPSS-модель замкнутой СеМО

Uz\_1      STORAGE      2; *число приборов в узле 1*

\*\*\*\*\*

GENERATE      ,,10; *формирование в нулевой момент времени десяти заявок*

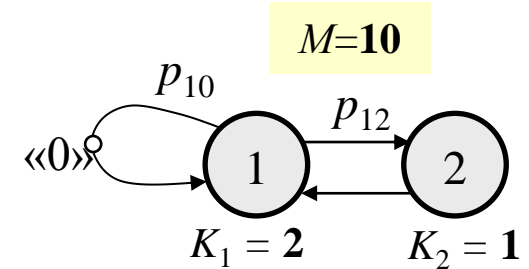
Met\_3      QUEUE      1; *регистрация момента поступления заявки в очередь узла 1*  
           ENTER      Uz\_1; *попытка занять один из приборов узла 1*  
           DEPART      1  
           ADVANCE      15,5  
           LEAVE      Uz\_1  
           TRANSFER      .8,,Met\_2; *передача транзакта с вероятностью 0,8 в узел 2*

TRANSFER      ,Met\_1; *безусловная передача транзакта в узел 1*

\*\*\*\*\*

Met\_2      QUEUE      2; *регистрация момента поступления заявки в очередь узла 2*  
           SEIZE      2; *попытка занять прибор узла 2*  
           DEPART      2; *регистрация момента покидания заявки очереди узла 2*  
           ADVANCE      (Exponential(50,0,20))  
           RELEASE      2  
           TRANSFER      ,Met\_3; *безусловная передача транзакта в узел 1*

\*\*\*\*\*



	0	1	2
0		1	
1	0,2		0,8
2		1	

$$b_1 = 15 \pm 5 \text{ с}$$

$$b_2 = 20 \text{ с (M)}$$

$U=?$

# «Моделирование»

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

---

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

*Факультет программной инженерии и компьютерной техники*