

«Моделирование»

Преподаватель: АЛИЕВ Тауфик Измайлович,
доктор технических наук, профессор

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

*Факультет программной инженерии и
компьютерной техники*

5. СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ

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

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

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

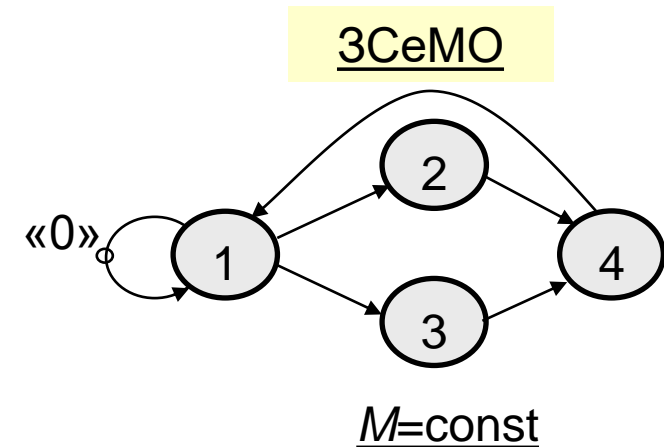
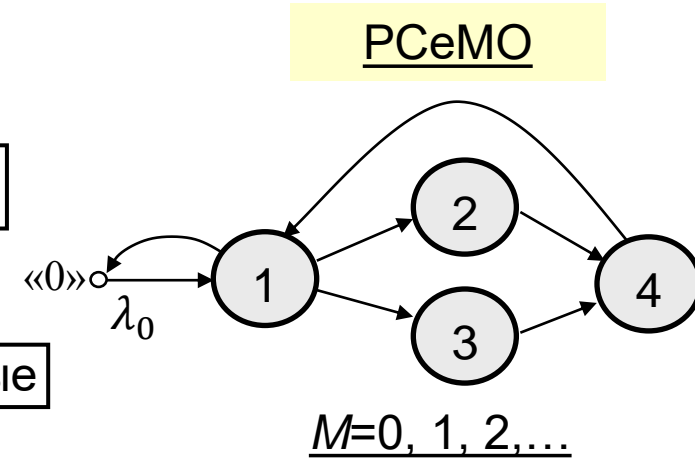
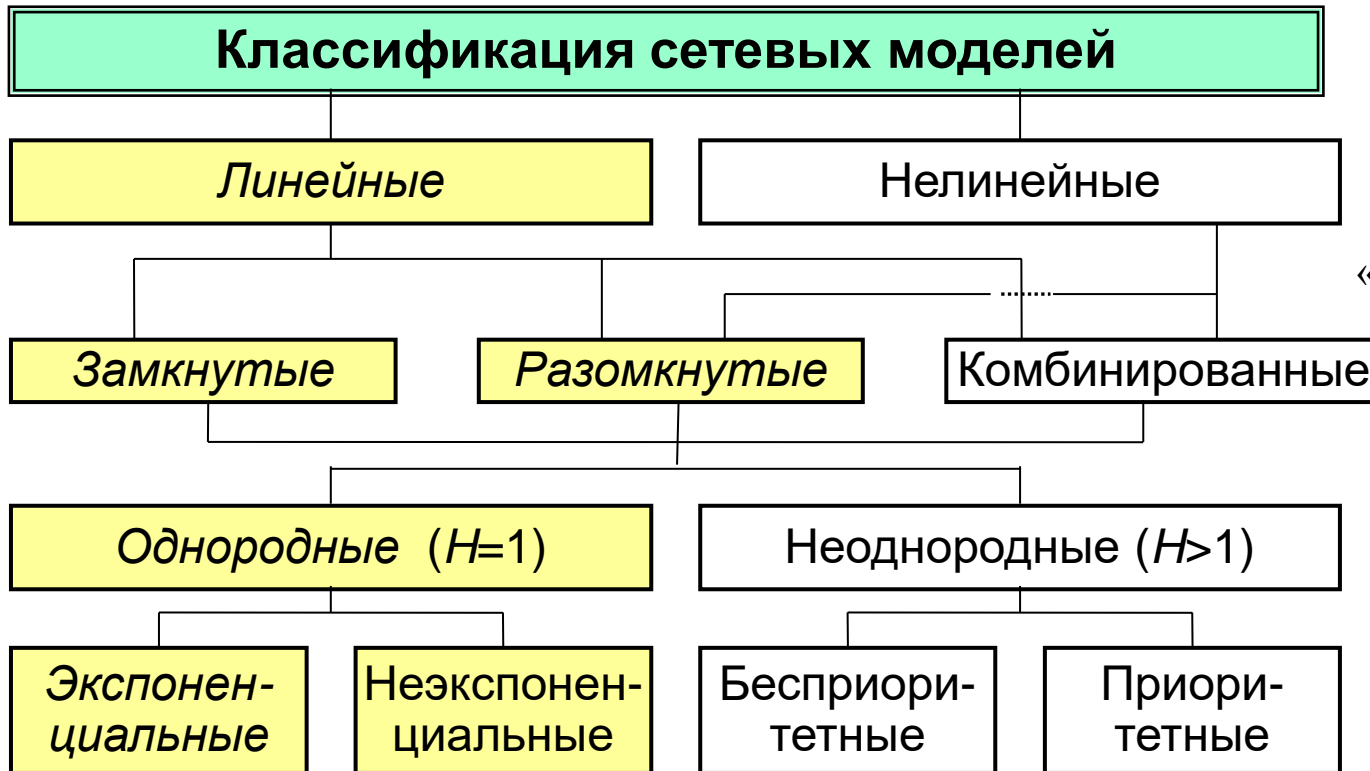
(раздел 1 параграф 1.3; раздел 2 параграф 2.3; раздел 4 параграфы 4.4, 4.5, 4.6)

https://books.ifmo.ru/book/686/modelirovanie_zadachi_zadaniya_testy.htm

5. Сетевые модели дискретных систем

5. Сетевые модели дискретных систем

Классификация сетевых моделей



В линейной сетевой модели: $\lambda_j = \alpha_j \lambda_0$ ($j = \overline{1, n}$),
где α_j - коэффициент передачи.

5. Сетевые модели дискретных систем

Параметры сетевых моделей (однородные экспоненциальные СеМО)

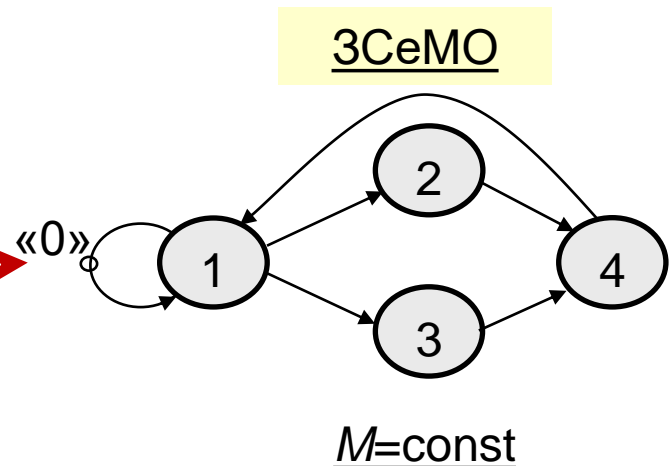
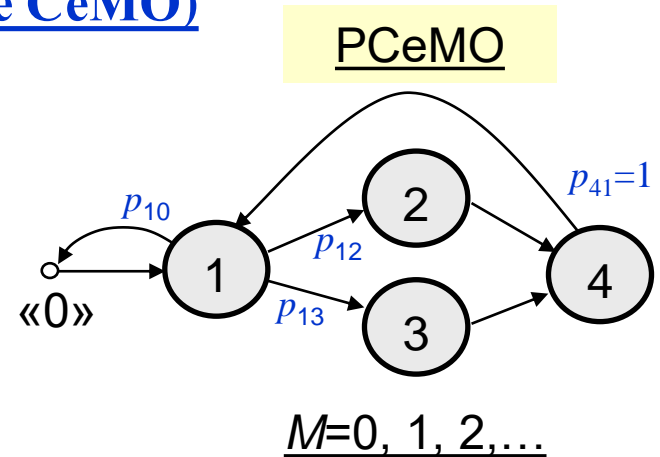
- количество узлов в сети: n ;
- количество приборов в узлах сети: K_1, \dots, K_n ;
- матрица вероятностей передач:

$$\mathbf{P} = [p_{ij} \mid i, j = 0, 1, \dots, n]$$

где p_{ij} - вероятность передачи заявки из узла i

в узел j : $\sum_{j=0}^n p_{ij} = 1 \quad (i = \overline{0, n})$;

- интенсивность λ_0 источника заявок, поступающих в **PCeMO**, или число заявок M , циркулирующих в **3CeMO**;
- средние длительности обслуживания заявок в узлах сети: b_1, \dots, b_n .



5. Сетевые модели дискретных систем

Характеристики сетевых моделей

Два класса характеристик:

- **узловые**, описывающие эффективность функционирования узлов (СМО);
- **сетевые**, описывающие функционирование СеМО в целом.

Сетевые характеристики:

- среднее число заявок, ожидающих обслуживания, и среднее число заявок, находящихся в сети:

$$L = \sum_{i=1}^n l_i ;$$

~~$$M = \sum_{i=1}^n m_i$$~~

- средние времена ожидания и пребывания заявок в сети:

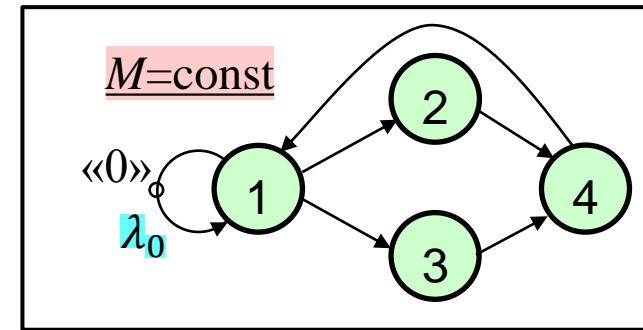
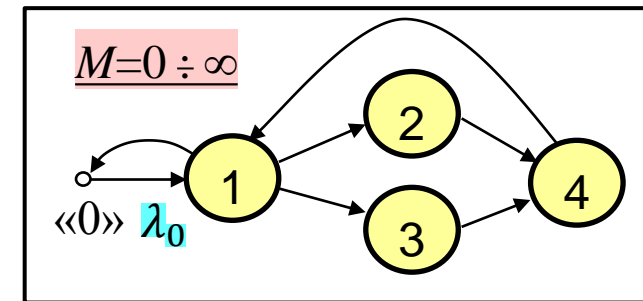
$$W = \sum_{i=1}^n \alpha_i w_i ;$$

$$U = \sum_{i=1}^n \alpha_i u_i$$

- **производительность замкнутой СеМО:**

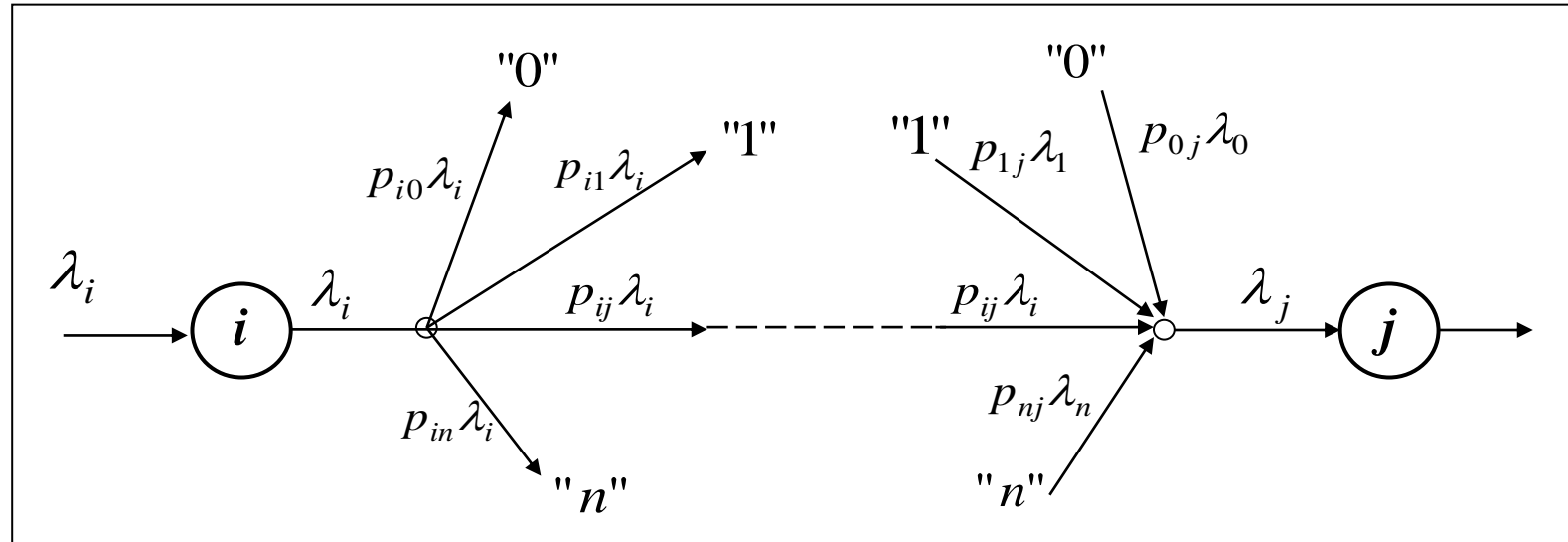
$$\lambda_0 = \lambda_i / \alpha_i \quad (i = 1, \dots, n); \quad \lambda_0 = M / U$$

$$\alpha_i \quad (i = 1, \dots, n) = ?$$



5. Сетевые модели дискретных систем

Расчет коэффициентов передач и интенсивностей потоков заявок в узлах РСМО



$$\lambda_j = \sum_{i=0}^n p_{ij} \lambda_i \quad (j = 0, 1, \dots, n)$$



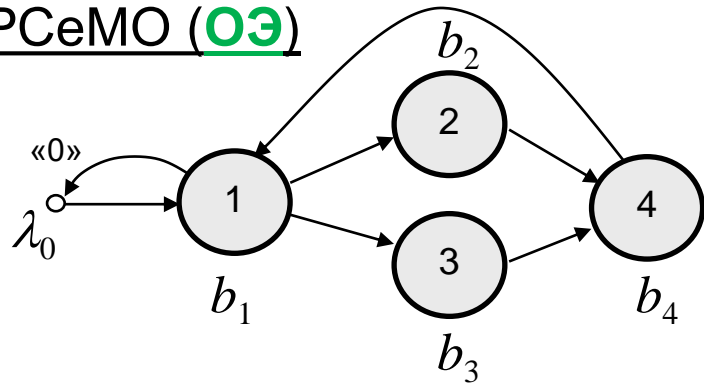
$$\lambda_j = \alpha_j \lambda_0 \quad (j = \overline{1, n})$$

$$\alpha_j = \sum_{i=0}^n p_{ij} \alpha_i \quad (j = 0, 1, \dots, n)$$

5. Сетевые модели дискретных систем

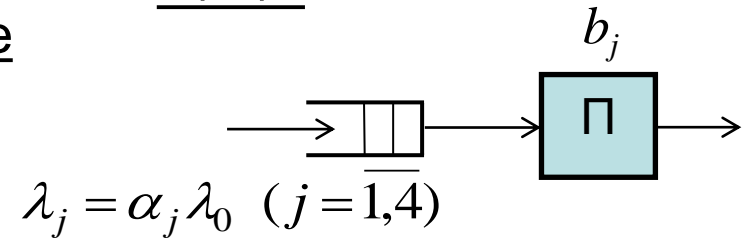
Эквивалентные и толерантные преобразования сетевых моделей

PCeMO (03)

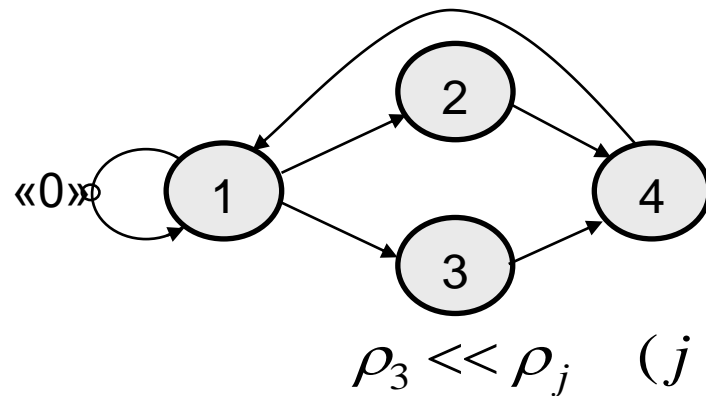


ЭКВИВАЛЕНТНОЕ

M/M/1

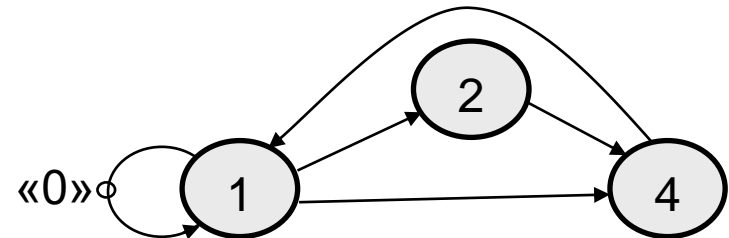


3CeMO



толерантное

3CeMO

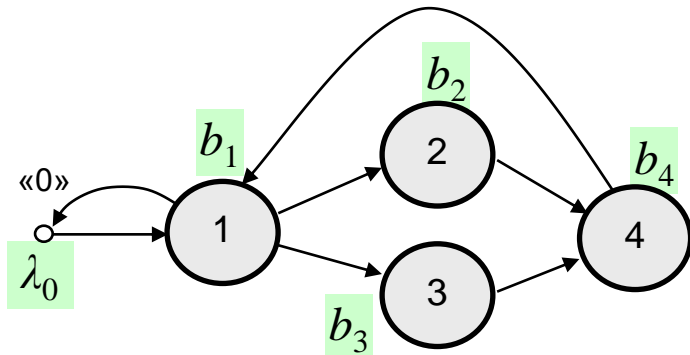


5. Сетевые модели дискретных систем

Расчет характеристик разомкнутых СеМО

Условие отсутствия перегрузок: $\rho_j = \frac{\lambda_j b_j}{K_j} = \frac{\alpha_j \lambda_0 b_j}{K_j} < 1 \Rightarrow \lambda_0 < \min \left(\frac{K_1}{\alpha_1 b_1}, \frac{K_2}{\alpha_2 b_2}, \dots, \frac{K_n}{\alpha_n b_n} \right)$

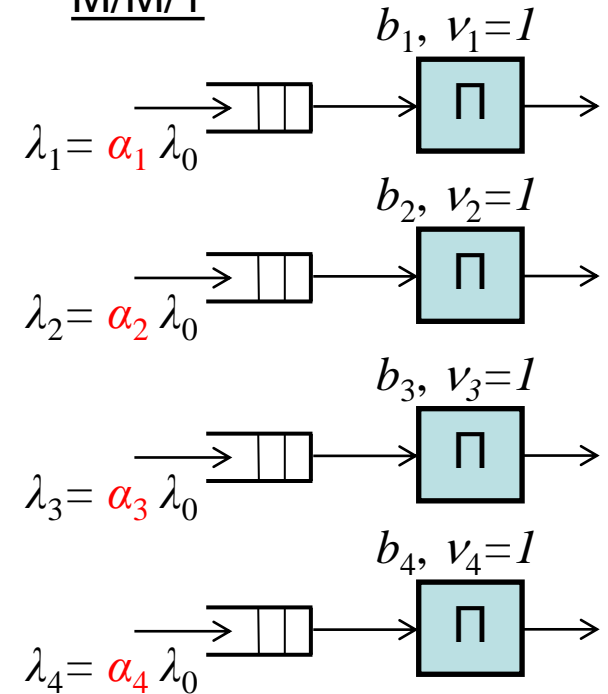
PCeMO (03)



Эквивалентное преобразование



M/M/1



При $K_1 = \dots = K_n = 1$:

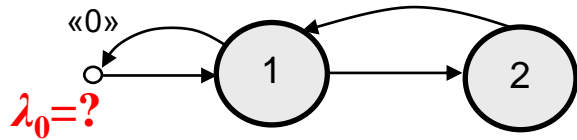
$$u_i = b_i / (1 - \rho_i) = b_i / (1 - \alpha_i \lambda_0 b_i) \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$$U = \sum_{i=1}^n \alpha_i u_i$$

5. Сетевые модели дискретных систем

Пример расчета характеристик разомкнутой СеМО

PCeMO (**ОЭ**)



$$n=2; \quad K_1=K_2=1; \quad b_1=2 \text{ c}; \quad b_2=1 \text{ c}$$

$$P =$$

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

$$\alpha_j = \sum_{i=0}^n p_{ij} \alpha_i \quad (j = 0, 1, \dots, n)$$

$$\lambda_0 < \min \left(\frac{K_1}{\alpha_1 b_1}, \frac{K_2}{\alpha_2 b_2}, \dots, \frac{K_n}{\alpha_n b_n} \right)$$

$$\left. \begin{aligned} \alpha_0 &= 0,2 \alpha_1 \\ \alpha_2 &= 0,8 \alpha_1 \end{aligned} \right\}$$

$$\alpha_0=1; \quad \alpha_1=5; \quad \alpha_2=4$$

$$\lambda_0 < \min (0,1; 0,25) \text{ c}^{-1}$$

$$\lambda_0=0,05 \text{ c}^{-1}; \quad \lambda_1 = \alpha_1 \lambda_0 = 0,25 \text{ c}^{-1}; \quad \lambda_2 = \alpha_2 \lambda_0 = 0,2 \text{ c}^{-1}$$

$$\rho_1 = \alpha_1 \lambda_0 b_1 = 0,5; \quad \rho_2 = \alpha_2 \lambda_0 b_2 = 0,2$$

$$u_1 = \frac{b_1}{1 - \rho_1} = 4 \text{ c}; \quad u_2 = \frac{b_2}{1 - \rho_2} = 1,25 \text{ c}$$

$$U = \alpha_1 u_1 + \alpha_2 u_2 = 5 * 4 + 4 * 1,25 = 25 \text{ c}$$

$$M = \lambda_0 U = 1,25$$

$$\lambda_0=0,09 \text{ c}^{-1}; \quad \lambda_1=0,45 \text{ c}^{-1}; \quad \lambda_2=0,36 \text{ c}^{-1}$$

$$\rho_1=0,9; \quad \rho_2=0,36$$

$$u_1=20 \text{ c}; \quad u_2=1,5625 \text{ c}$$

$$U = 5 * 20 + 4 * 1,5625 = 106,25 \text{ c}$$

$$M = \lambda_0 U = 9,5625$$

5. Сетевые модели дискретных систем

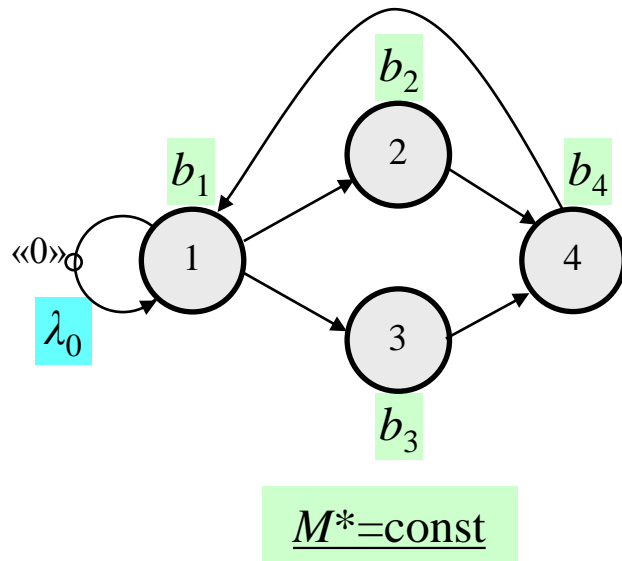
Алгоритм расчета характеристик замкнутых СеМО

$$\lambda_j = \sum_{i=0}^n p_{ij} \lambda_i \quad (i = 0, 1, \dots, n)$$



$$\alpha_j = \sum_{i=0}^n p_{ij} \alpha_i \quad (i = 0, 1, \dots, n)$$

3СеМО (03)



$$u_i(M) = b_i [1 + m_i(M - 1)]$$

$$U(M) = \sum_{i=1}^n \alpha_i u_i(M)$$

$$\lambda_0(M) = \frac{M}{U(M)}$$

$$m_i(M) = \alpha_i \lambda_0(M) u_i(M)$$

$M = 1, 2, \dots, M^*$

$i = 1, 2, \dots, n$

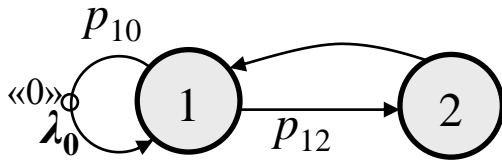
.....
 M^* - заданное
 число заявок в
 3СеМО

$$M = \sum_{i=1}^n m_i(M)$$

5. Сетевые модели дискретных систем

Пример расчета характеристик замкнутой CeMO

3CeMO (OЭ)



$n=2; K_1=K_2=1; b_1=2 \text{ c}; b_2=1 \text{ c}$

P=

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

PCemo

$\lambda_0=0,09 \text{ c}^{-1}; U=106,25 \text{ c}$
 $M=9,5625$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_0 = 0,2\alpha_1 \\ \alpha_2 = 0,8\alpha_1 \end{array} \right\}$$

$\alpha_0=1; \alpha_1=5; \alpha_2=4$

$$u_i(M) = b_i[1 + m_i(M-1)]$$

$$U(M) = \sum_{i=1}^n \alpha_i u_i(M)$$

$$\lambda_0(M) = \frac{M}{U(M)}$$

$$m_i(M) = \alpha_i \lambda_0(M) u_i(M)$$

M*=2 (M=1, 2)

M=1

1) $u_1(1) = b_1 = 2 \text{ c}$

$u_2(1) = b_2 = 1 \text{ c}$

2) $\underline{U(1)} = \alpha_1 u_1(1) + \alpha_2 u_2(1) = \underline{14 \text{ c}}$

3) $\underline{\lambda_0(1)} = 1/U(1) = 1/14 \approx \underline{0,07 \text{ c}^{-1}}$

4) $m_1(1) = \alpha_1 \lambda_0(1) u_1(1) = 10/14$

$m_2(1) = \alpha_2 \lambda_0(1) u_2(1) = 4/14$

M=M*=2

1) $u_1(2) = 48/14 \text{ c}$

$u_2(2) = 18/14 \text{ c}$

2) $\underline{U(2)} = 156/7 \approx \underline{22,3 \text{ c}}$

3) $\underline{\lambda_0(2)} = 7/78 \approx \underline{0,09 \text{ c}^{-1}}$

4) $m_1(2) = 60/39$

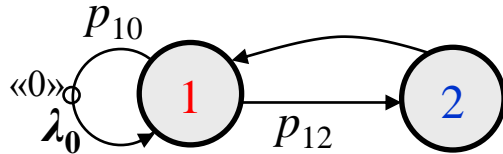
$m_2(2) = 18/39$

$$M = \sum_{i=1}^n m_i(M)$$

5. Сетевые модели дискретных систем

Марковская модель замкнутой СеМО

3СеМО (ОЭ)



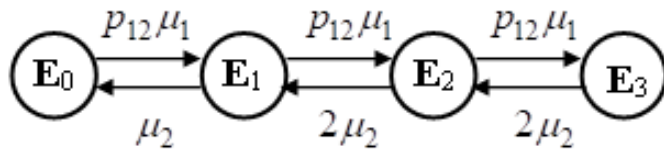
$P =$

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

$n=2; K_1=1; K_2=2; b_1=2 \text{ с}; b_2=1 \text{ с}; M=3$

Кодирование состояний: (M_1, M_2)

$M_1 = \{0, 1, 2, 3\} \quad M_2 = \{0, 1, 2, 3\}$



$E_0: (3, 0)$
 $E_1: (2, 1)$
 $E_2: (1, 2)$
 $E_3: (0, 3)$

	E_0	E_1	E_2	E_3
$G =$				
E_0	$-p_{12} \mu_1$	$p_{12} \mu_1$	0	0
E_1	μ_2	$-(p_{12} \mu_1 + \mu_2)$	$p_{12} \mu_1$	0
E_2	0	$2\mu_2$	$-(p_{12} \mu_1 + 2\mu_2)$	$p_{12} \mu_1$
E_3	0	0	$2\mu_2$	$-2\mu_2$

Характеристики 3СеМО:

- загрузка узлов: $\rho_1 = p_0 + p_1 + p_2; \quad \rho_2 = 0,5p_1 + p_2 + p_3;$
- ср. длины очередей: $l_1 = 2p_0 + p_1; \quad l_2 = p_3;$
- среднее число заявок в узлах СеМО:
 $m_1 = 3p_0 + 2p_1 + p_2; \quad m_2 = p_1 + 2p_2 + 3p_3;$

• **производительность 3СеМО:** $\lambda_0 = \frac{\rho_1}{\alpha_1 b_1} = \frac{\rho_2}{\alpha_2 b_2}$

• ср. время ожидания в узлах: $w_1 = \frac{l_1}{\alpha_1 \lambda_0}; \quad w_2 = \frac{l_2}{\alpha_2 \lambda_0};$

• ср. время пребывания в узлах: $u_1 = \frac{m_1}{\alpha_1 \lambda_0}; \quad u_2 = \frac{m_2}{\alpha_2 \lambda_0};$

• нагрузка в узлах сети: $y_1 = \alpha_1 \lambda_0 b_1; \quad y_2 = \alpha_2 \lambda_0 b_2;$

• ср. число параллельно работающих узлов: $R = \rho_1 + \rho_2;$

• ср. число параллельно работающих приборов: $Y = y_1 + y_2;$

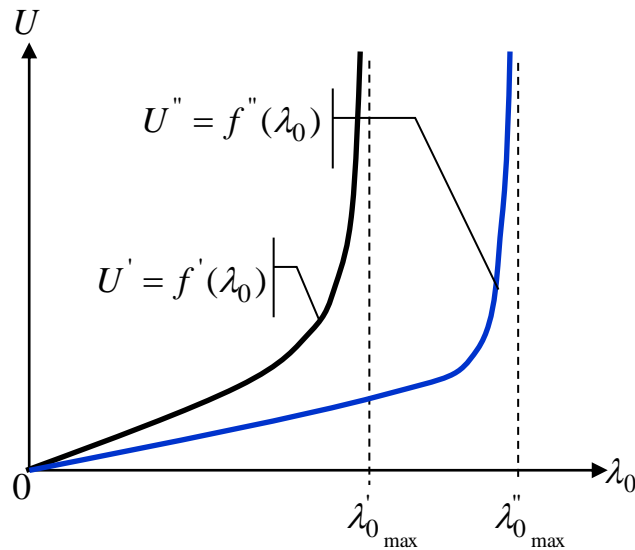
• суммарное число заявок во всех очередях: $L = l_1 + l_2;$

• суммарное (полное) время ожидания и пребывания заявок в СеМО:

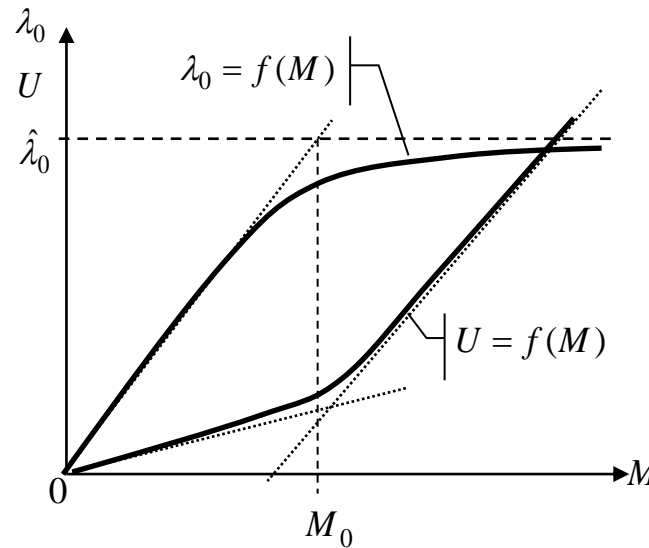
$$W = \alpha_1 w_1 + \alpha_2 w_2; \quad U = \alpha_1 u_1 + \alpha_2 u_2;$$

5. Сетевые модели дискретных систем

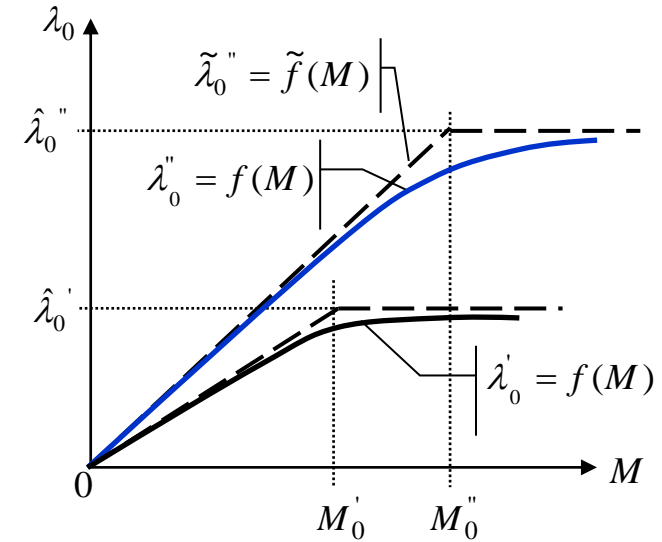
Свойства СеМО



Зависимости времени пребывания заявок в разомкнутой СеМО от интенсивности их поступления



Зависимости производительности и времени пребывания заявок в замкнутой СеМО от числа заявок



Разгрузка «узкого места»:

- увеличение числа приборов в узле;
- увеличение производительности узла;
- перераспределение нагрузки между узлами (например, файлы между НМД).

«Узкое место»:

$$\rho_y = \max\{\rho_1, \dots, \rho_n\} \xrightarrow{M \rightarrow \infty} 1$$

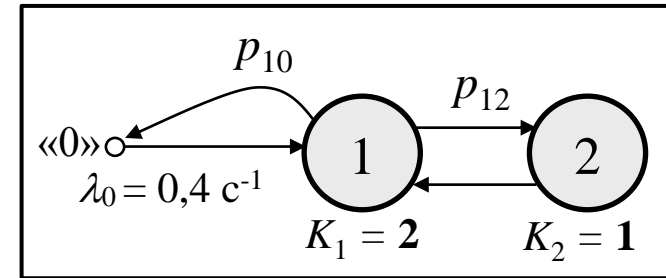
Пропускная способность СеМО:

$$\rho_y = \frac{\alpha_y \lambda_0 b_y}{K_y} = 1 \quad \Rightarrow \quad \hat{\lambda}_0 = \frac{K_y}{\alpha_y b_y}$$

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*
 TRANSFER **990,,Met_2;** *передача транзакта с вероятностью 0,99 в узел 2*
 TABULATE
 TERMINATE T_U
 1; *удаление из модели обслуженной заявки*

	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*
 TRANSFER **,Met_1;** *безусловная передача транзакта в узел 1*

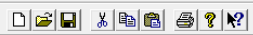
START 1000000; *запуск модели*

TRANSFER A,[B],C
TRANSFER ,B

5. Сетевые модели дискретных систем

GPSS-модель двухузловой разомкнутой CeMO

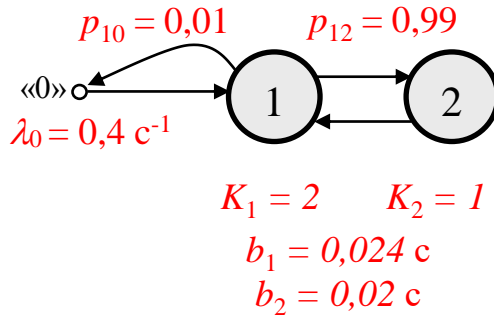
GPSS World - Untitled Model 1.4.1 - REPORT:3
File Edit Search View Command Window Help



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
    
```



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	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	0.000
			0.000 -	7883745	79.02
			1.000 -	151101	80.53
			2.000 -	147218	82.01
			3.000 -	143493	83.45
			4.000 -	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	0
	2	QUEUE	20041189	0	0	0
	3	ENTER	20041189	0	0	0
	4	DEPART	20041189	0	0	0
	5	ADVANCE	20041189	0	0	0
	6	LEAVE	20041189	0	0	0
	7	TRANSFER	20041189	0	0	0
	8	TABULATE	200000	0	0	0
	9	TERMINATE	200000	0	0	0
MET_2	10	QUEUE	19841189	0	0	0
	11	SEIZE	19841189	0	0	0
	12	DEPART	19841189	0	0	0
	13	ADVANCE	19841189	0	0	0
	14	RELEASE	19841189	0	0	0
	15	TRANSFER	9841189	0	0	0

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

QUEUE	MAX CONT.	ENTRY ENTRY(0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
1	8	0 20041189 15810268	0.080	2.003	9.486	0
2	65	0 19841189 3877251	2.975	74.823	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	0.000
			0.000 -	15810641	78.89
			1.000 -	305009	80.41
			2.000 -	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
```

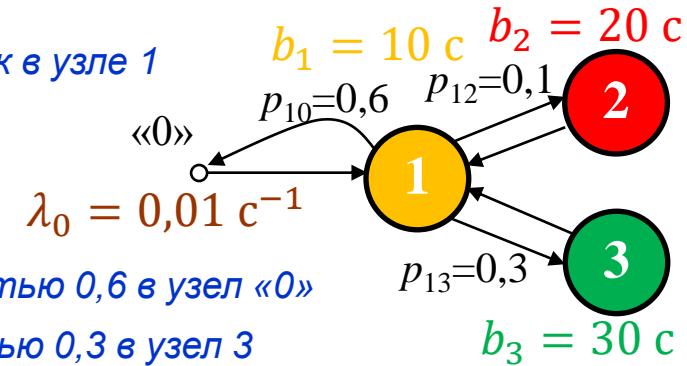
* *Модуль 2: моделирование процесса обслуживания заявок в узле 2*

```
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

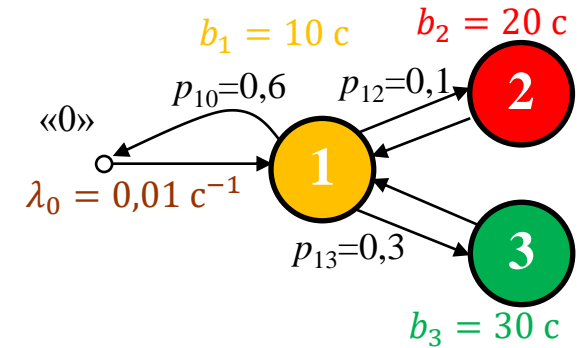
GPSS-модель многоузловой разомкнутой CeMO

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>
	TRANSFER	.3,,Met_3; <i>передача заявки с вероятн. 0,3 в узел 3</i>
	TRANSFER	750,,Met_3; <i>передача заявки с вероятн. 0,75 в узел</i>

*****3*****

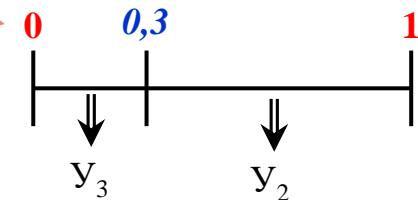
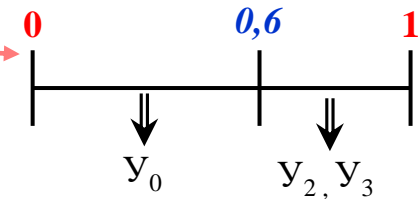
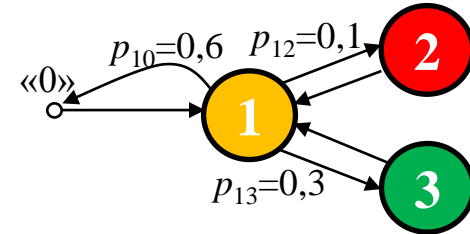
* *Модуль 2: моделирование процесса обслуживания заявок в узле 2*

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*

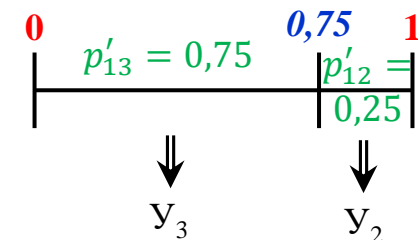
Met_3	SEIZE	3
	ADVANCE	30
	RELEASE	3
	TRANSFER	,Met_1; <i>безусловная передача транзакта в узел 1</i>

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

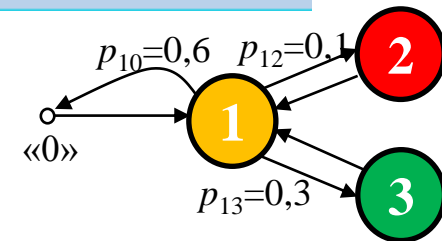
FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL. OW
1	1666051	0.167	10.000	1
2	166475	0.033	20.000	1
3	499576	0.150	30.000	1

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

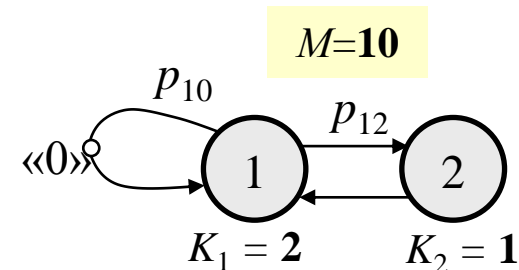
GPSS-модель замкнутой СеМО

Uz_1 STORAGE 2; *число приборов в узле 1*
T_U TABLE M1,40,40,30; *время пребывания в сети*

Met_1 GENERATE ,,,10; *формирование в нулевой момент времени десяти заявок*
MARK ; *отметка момента времени поступления заявки в сеть*
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*
TABULATE T_U
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*

GENERATE 10000000; *задание длительности моделирования*
TERMINATE 1; *уменьшение счетчика завершения на 1*



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

$b_1 = 15 \pm 5$ с
 $b_2 = 20$ с (M)

$U=?$