

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

Университет ИТМО

Факультет программной инженерии и компьютерной техники

**Отчет по учебно-исследовательской работе 4  
по дисциплине “Моделирование”  
Вариант 13/2**

Выполнили: студенты группы  
Р34131

Бусыгин Дмитрий Алексеевич и  
Лазеев Сергей Максимович

Преподаватель:  
Тропченко Андрей Александрович

Санкт-Петербург  
2024

Цель работы	2
Задание	2
Исходные данные	3
Выполнение	3
Моделирование ЗСеМО	3
Выявление критического число заявок в ЗСеМО	6
Результаты имитационного моделирования для ЗСеМО при 8 входных заявках	7
Выявление “узкого места” в ЗСеМО	8
Оценка ЗСеМО после улучшения	8
Построение экспоненциальной РСемо	9
Построение неэкспоненциальной РСемо	11
Сравнение эксп. и неэксп. РСемо	13
Вывод	13

## Цель работы

Исследование свойств системы, моделируемой в виде замкнутых и разомкнутых сетей массового обслуживания (СеМО) с однородным потоком заявок с применением имитационного моделирования при различных предположениях о параметрах структурно-функциональной организации и нагрузки.

## Задание

Разработка имитационных моделей и проведение модельных экспериментов с целью исследования зависимостей характеристик функционирования от параметров и выявления свойств замкнутых и разомкнутых СеМО (РСеМО), а также сравнительный анализ эффективности разомкнутых и замкнутых СеМО (ЗСеМО). Исследования выполняются с применением имитационного моделирования **в среде GPSS** или в системе моделирования Any Logic. При представлении в отчете результатов исследований предпочтение следует отдавать графической форме в виде гистограмм и графиков, наглядно отображающих зависимости основных наиболее важных (с точки зрения исследователя) характеристик исследуемых систем от параметров (таких как загрузка, характер потока поступающих в РСеМО заявок, характер обслуживания заявок в узлах, количество приборов в узлах). Представление результатов в виде таблиц носит только рекомендательный характер и может быть выполнено, если это необходимо для подтверждения сформулированных выводов.

## Исходные данные

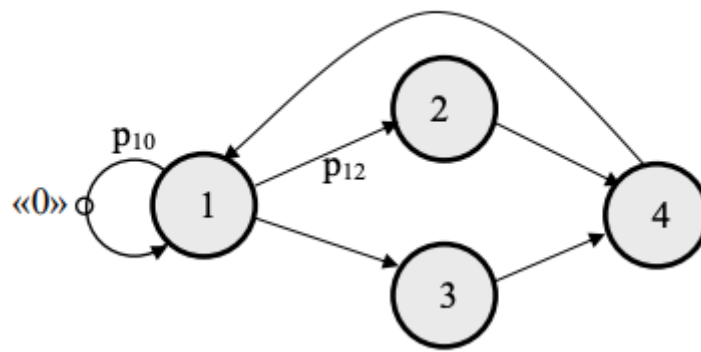
Таблица 1. Структурные параметры ЗСеМО

Вариант (А)	Кол-во узлов n	Количество приборов				Номер узла	Тип модел и
		У1	У2	У3	У4		
13	4	3	2	1	2	1	М2

Таблица 2. Параметры узлов СеМО

Вариант (В)	Вероятности передач			Средние длительности обслуживания, с			
	p10	p12	p13	b1	b2	b3	b4
1	0,2	0,4	0,2	2	5,5	10	12

### Модель M2



## Выполнение

### Моделирование 3СеМО

#### Экспоненциальная 3СеМО

```
UZEL_1 STORAGE 3; задание числа приборов в узле 1
UZEL_2 STORAGE 2; задание числа приборов в узле 2
UZEL_3 STORAGE 1; задание числа приборов в узле 3
UZEL_4 STORAGE 2; задание числа приборов в узле 4
```

\* Средние длительности \*

```
b1 EQU 2;
b2 EQU 5.5;
b3 EQU 10;
b4 EQU 6;
```

```
TU_buf_1 QTABLE 1,0.1,0.1,50;
TU_buf_2 QTABLE 2,0.1,0.1,50;
TU_buf_3 QTABLE 3,0.1,0.1,50;
TU_buf_4 QTABLE 4,0.1,0.1,50;
```

```
T_U TABLE M1,40,40,30;
```

```
RN_a EQU 20; номер генератора для потока
```

\*\*\*\*\*

```
GENERATE ,,,8;
```

```
STAGE_1 QUEUE 1
```

```
ENTER UZEL_1
```

```
DEPART 1
```

```
ADVANCE (Exponential(920,0,b1))
```

```
LEAVE UZEL_1
```

```
TRANSFER 0.4,,STAGE_2; с вероятностью 0.4 - идем на 2 прибор
```

```
TRANSFER 0.4,STAGE_3; с вероятностью 0.4 - идем на 3 прибор
```

```

TABULATE T_U
TRANSFER ,,STAGE_1; с вероятностью 0.2 - остаемся в 1 приборе

STAGE_2 QUEUE 2
ENTER UZEL_2
DEPART 2
ADVANCE (Exponential(920,0,b2))
LEAVE UZEL_2
TRANSFER ,STAGE_4

STAGE_3 QUEUE 3
ENTER UZEL_3
DEPART 3
ADVANCE (Exponential(920,0,b3))
LEAVE UZEL_3
TRANSFER ,STAGE_4

STAGE_4 QUEUE 4
ENTER UZEL_4
DEPART 4
ADVANCE (Exponential(920,0,b4))
LEAVE UZEL_4
TRANSFER ,STAGE_1

GENERATE 100000; задание длительности моделирования
TERMINATE 1; уменьшение счетчика завершения на 1

```

### *Неэкспоненциальная ЗСМО*

```

UZEL_1 STORAGE 3; задание числа приборов в узле 1
UZEL_2 STORAGE 2; задание числа приборов в узле 2
UZEL_3 STORAGE 1; задание числа приборов в узле 3
UZEL_4 STORAGE 2; задание числа приборов в узле 4

* Средние длительности *
b1 EQU 2;
b2 EQU 5.5;
b3 EQU 10;
b4 EQU 6;

RN_H EQU 91; номер генератора для гиперэкспоненциального распределения
qq EQU 0.2; вероятность выбора первой фазы
tt_1 EQU 1.7247; мат. ожидание первой фазы гиперэкспоненциального
распределения
tt_2 EQU 0.1938; мат. ожидание второй фазы гиперэкспоненциального
распределения

```

```
TU_buf_1 QTABLE 1,0.1,0.1,50;
TU_buf_2 QTABLE 2,0.1,0.1,50;
TU_buf_3 QTABLE 3,0.1,0.1,50;
TU_buf_4 QTABLE 4,0.1,0.1,50;
```

RN\_a EQU 20; номер генератора для потока

\*\*\*\*\*

GENERATE ,,,8;

STAGE\_1 QUEUE 1

ENTER UZEL\_1

DEPART 1

ADVANCE (Exponential(920,0,b1))

LEAVE UZEL\_1

TRANSFER 0.2,,STAGE\_1; с вероятностью 0.2 - остаемся в 1 приборе

TRANSFER 0.4,,STAGE\_2; с вероятностью 0.4 - идем на 2 прибор

TRANSFER ,STAGE\_3; с вероятностью 0.4 - идем на 3 прибор

STAGE\_2 QUEUE 2

ENTER UZEL\_2

DEPART 2

ADVANCE (Exponential(920,0,b2))

LEAVE UZEL\_2

TRANSFER ,STAGE\_4

STAGE\_3 QUEUE 3

ENTER UZEL\_3

DEPART 3

ADVANCE (hyper1(RN\_H, qq, tt\_1, tt\_2))

LEAVE UZEL\_3

TRANSFER ,STAGE\_4

STAGE\_4 QUEUE 4

ENTER UZEL\_4

DEPART 4

ADVANCE (Exponential(920,0,b4))

LEAVE UZEL\_4

TRANSFER ,STAGE\_1

GENERATE 1000000; задание длительности моделирования

TERMINATE 1; уменьшение счетчика завершения на 1

\*\*\*\*\*

\* Процедура возвращает значение псевдослучайной величины, \*

\* распределенной по гиперэкспоненциальному закону, в \*

\* соответствии с параметрами распределения qq, tt\_1, tt\_2. \*

\*\*\*\*\*

PROCEDURE hyper1(RN\_H, qq, tt\_1, tt\_2) BEGIN

if (uniform(1,0,1) < qq) then return exponential(RN\_H,0,tt\_1);

else return exponential(RN\_H,0,tt\_2);

END;

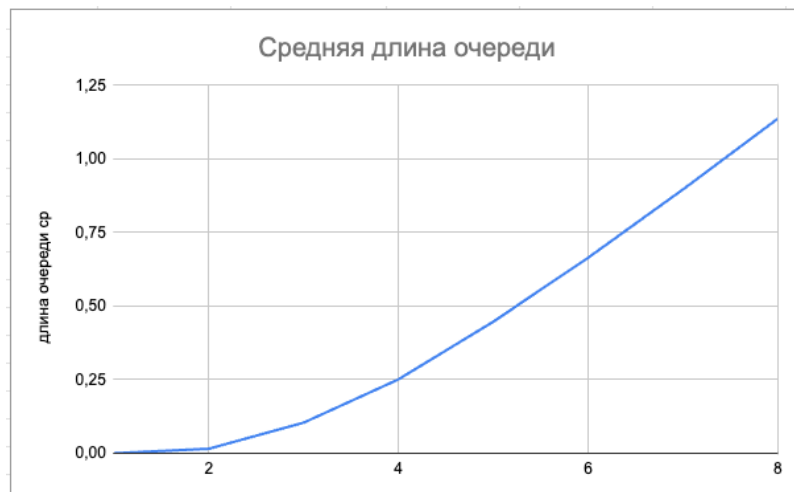
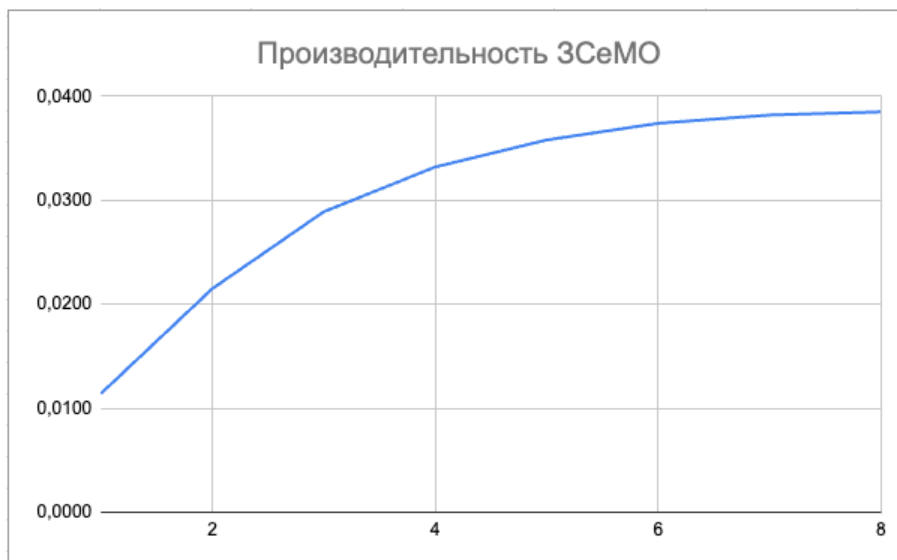
## Выявление критического число заявок в ЗСеМО

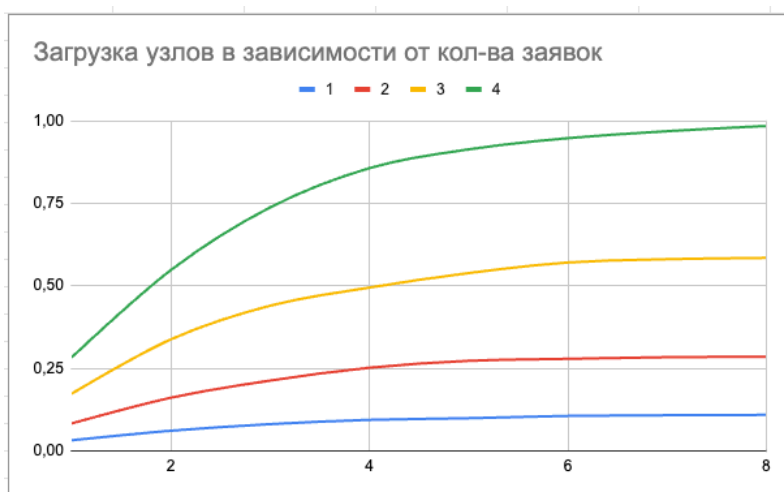
Выявим критическое число заявок  $M^*$ , начиная с которого производительность сети почти не изменяется:

$$\lambda_0 = \frac{N_0}{T}$$

Характеристики СеМО	Замкнутая СеМО							
Число заявок	1	2	3	4	5	6	7	8
Производительность	0.0114	0.0215	0.0289	0.0332	0.0358	0.0374	0.0382	0.0385

При 8 входящих заявках производительность ЗСеМО можно считать константой





## Результаты имитационного моделирования для ЗСеМО при 8 вХОДНЫХ заявок

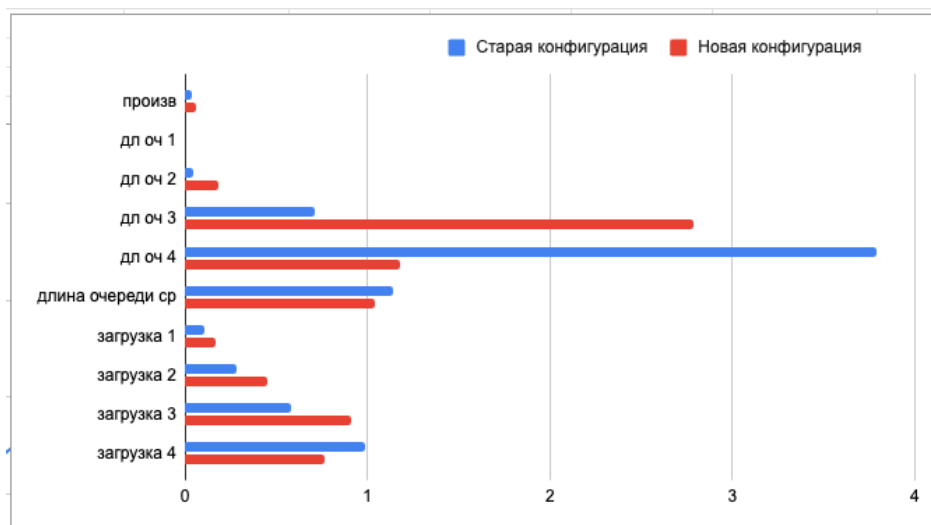
Характери- стики СеМО	ЗСеМО-экспоненциальная					ЗСеМО-неэкспоненциальная				
	Узловые				Сетев ые	Узловые				Сетев ые
	У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,109	0,285	0,585	0,985	0,491	0,246	0,274	0,117	0,998	0,409
Длина очереди	0,001	0,047	0,714	3,787	1,137	0,02	0,108	0,027	4,192	1,087
Производ-т ь	0,021 5	0,005	0,0035	0,00 85	0,0385	0,01	0,005	0,0112	0,009	0,2329
Время ожидания	0.041	1.064	0.568	0.00 0	0.358	0.046	1.226	0.220	0.000	0.336
Время преб-ния	0.5	0.272 7	0.5364	0.5	0.4615	1.029 0	0.305 0	0.7060	0.506 0	2.5035

## Выявление “узкого места” в ЗСеМО

Для дальнейшей работы необходимо определить узел, где загруженность системы растет быстрее всего. «Узким местом» в системе является узел 4, так как именно его загрузка максимальна (UTIL: 0.985). В качестве способа решения проблемы уменьшим длительность обслуживания заявок на нём с 12с до 6с и вновь посмотрим на предельные параметры при 8 входящих заявках



## Оценка ЗСеМО после улучшения



Видим, что мы значительно сократили длину очереди в 4м узле, но средняя длина очереди осталась прежней, т.к теперь “узким местом” стал узел 3. Тем не менее, улучшение можно считать успешным, т.к общая производительность системы выросла вдвое (0,0385 -> 0,06083)

## Построение экспоненциальной РСемо

Установим интенсивность входного потока  $a_1 = \frac{1}{\lambda_0} = \frac{1}{0,06083} = 16.44$

### Экспоненциальная РСемо

```
UZEL_1 STORAGE 1; задание числа приборов в узле 1
UZEL_2 STORAGE 1; задание числа приборов в узле 2
UZEL_3 STORAGE 1; задание числа приборов в узле 3
UZEL_4 STORAGE 3; задание числа приборов в узле 4
```

★ Средние длительности ★

```
b1 EQU 1;
b2 EQU 10;
b3 EQU 4.5;
b4 EQU 20;
```

```
w_1 QTABLE 1,0,1,20
w_2 QTABLE 2,0,0.5,20
w_3 QTABLE 3,0,0.5,20
w_4 QTABLE 4,0,0.5,20
```

```
TU_buf_1 QTABLE 1,0.1,0.1,50;
TU_buf_2 QTABLE 2,0.1,0.1,50;
TU_buf_3 QTABLE 3,0.1,0.1,50;
```

```

TU_buf_4  QTABLE 4,0.1,0.1,50;

a_1 EQU 16.44; мат. ожидание входящего потока

RN_a EQU 920; номер генератора для потока
*****

GENERATE (Exponential(20,0,a_1));
STAGE_1 QUEUE 1
  ENTER UZEL_1
  DEPART 1
  ADVANCE (Exponential(920,0,b1))
  LEAVE UZEL_1
  TRANSFER 0.1,,BUF; с вероятностью 0.5 - остаемся в 1 приборе
  TERMINATE 1

BUF TRANSFER 0.3,,STAGE_2; с вероятностью 0.3 - идем на 2 прибор
  TRANSFER ,STAGE_3; с вероятностью 0.6 - идем на 3 прибор

STAGE_2 QUEUE 2
  ENTER UZEL_2
  DEPART 2
  ADVANCE (Exponential(920,0,b2))
  LEAVE UZEL_2
  TRANSFER ,STAGE_4

STAGE_3 QUEUE 3
  ENTER UZEL_3
  DEPART 3
  ADVANCE (Exponential(920,0,b3))
  LEAVE UZEL_3
  TRANSFER ,STAGE_4

STAGE_4 QUEUE 4
  ENTER UZEL_4
  DEPART 4
  ADVANCE (Exponential(920,0,b4))
  LEAVE UZEL_4
  TRANSFER ,STAGE_1

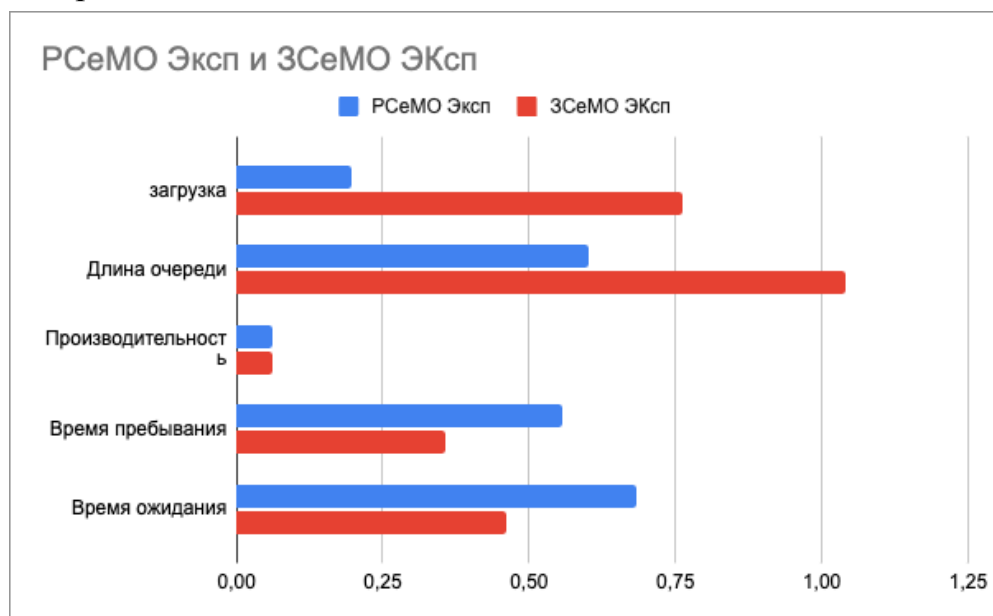
END_1 TERMINATE 1

```

Сравним Экспоненциальные варианты СеМО:

	загрузка	Длина очереди	Производительность	Время пребывания	Время ожидания
PCeMO Эксп	0,196	0,603	0,06083	0.556	0.683
ЗСеМО Эксп	0,762	1,03925	0,06083	0.358	0.4615

Видим, что благодаря верно выбранному входному потоку PCeMO имеет такую же производительность. Однако средняя длина очереди у нее уменьшилась, но время ожидания/пребывания увеличилось. Можно сказать, что система начала работать медленнее, но с меньшим числом потерь



## Построение неэкспоненциальной PCeMO

### Неэкспоненциальная PCeMO

```
UZEL_1STORAGE      3; задание числа приборов в узле 1
UZEL_2STORAGE      2; задание числа приборов в узле 2
UZEL_3STORAGE      1; задание числа приборов в узле 3
UZEL_4STORAGE      2; задание числа приборов в узле 4
```

\* Средние длительности \*

```
b1    EQU    1;
b2    EQU    10;
b3    EQU    4.5;
b4    EQU    20;
```

```
w_1  QTABLE 1,0,1,20
w_2  QTABLE 2,0,1,20
w_3  QTABLE 3,0,1,20
w_4  QTABLE 4,0,1,20
```

RN\_H EQU 91; номер генератора для гиперэкспоненциального распределения  
qq EQU 0.2; вероятность выбора первой фазы  
tt\_1 EQU 1.7247; мат. ожидание первой фазы гиперэкспоненциального  
распределения  
tt\_2 EQU 0.1938; мат. ожидание второй фазы гиперэкспоненциального  
распределения

a\_1 EQU 16.44; мат. ожидание входящего потока

RN\_a EQU 920; номер генератора для потока

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

GENERATE (Exponential(20,0,a\_1));

STAGE\_1 QUEUE 1

ENTER UZEL\_1

DEPART1

ADVANCE (Exponential(920,0,b1))

LEAVE UZEL\_1

TRANSFER 0.2,,BUF; с вероятностью 0.2 - остаемся в 1 приборе

TERMINATE 1

BUF TRANSFER 0.4,,STAGE\_2; с вероятностью 0.4 - идем на 2 прибор

TRANSFER ,STAGE\_3; с вероятностью 0.4 - идем на 3 прибор

STAGE\_2 QUEUE 2

ENTER UZEL\_2

DEPART2

ADVANCE (Exponential(920,0,b2))

LEAVE UZEL\_2

TRANSFER ,STAGE\_4

STAGE\_3 QUEUE 3

ENTER UZEL\_3

DEPART3

ADVANCE (hyper1(RN\_H, qq, tt\_1, tt\_2))

LEAVE UZEL\_3

TRANSFER ,STAGE\_4

STAGE\_4 QUEUE 4

ENTER UZEL\_4

DEPART4

ADVANCE (Exponential(920,0,b4))

```

        LEAVE UZEL_4
        TRANSFER      ,STAGE_1

```

```

END_1 TERMINATE 1

```

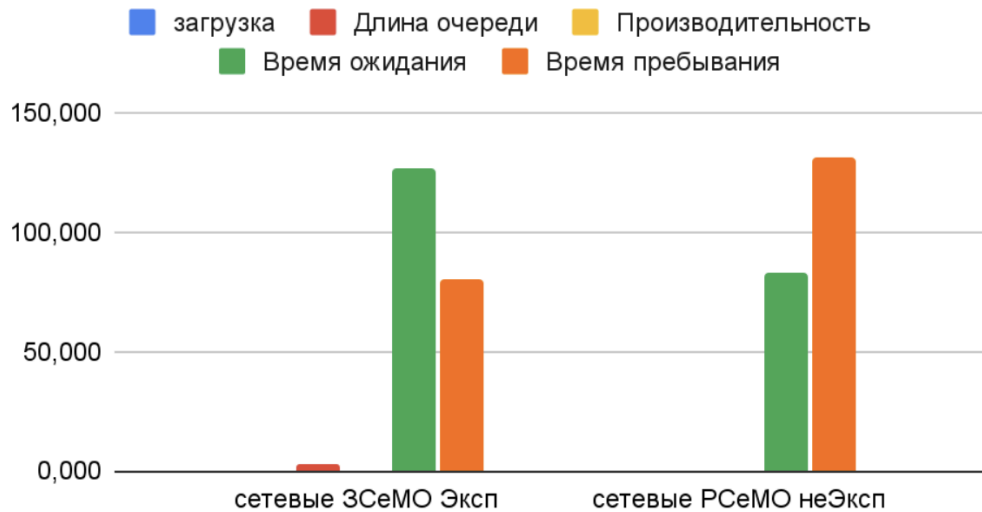
```

*****
* Процедура возвращает значение псевдослучайной величины, *
* распределенной по гиперэкспоненциальному закону, в      *
* соответствии с параметрами распределения qq, tt_1, tt_2. *
*****
PROCEDURE hyper1(RN_H, qq, tt_1, tt_2) BEGIN
    if (uniform(1,0,1) < qq) then return exponential(RN_H,0,tt_1);
    else return exponential(RN_H,0,tt_2);
END;

```

## Сравнение эксп. и неэксп. PCeMO

Хар-ки СеМО	РСеМО Экспоненциальная				сетевы е	РСеМО неэкспоненциальная				
	узловые					узловые				сетевые
	У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4	
загрузка	0.718	0.179	0.144	0.107	0,196	0,398	0,017	0,519	0,411	0,427
Длина очереди	0.127	0.117 0	0.330	0.049	0,603	0,116	0,065	0,451	0,341	0,856
Производительность	0,001	0,057	0,092	0,064	0,0608	0,219	0,071	0,624	0,542	0,0598
Время ожидания	0,032	0,114	0,201	0,192	0.556	0,091	0,353	0,083	0,192	0,570
Время пребывания	0.040	0.173	0.236	0.200	0.683	0.050	0.273	0.579	0.500	0,703



## Вывод

В процессе выполнения УИР мы с напарником расширили знания о системах массового обслуживания понятиями “замкнутых” и “разомкнутых” систем. Сами построили и симитировали работу каждой из них в разных конфигурациях, а также попытались сделать выводы о работе каждой из них.