

Университет ИТМО

Лабораторная работа №4 «Исследование сетевых моделей массового обслуживания»

по дисциплине: Моделирование

Вариант 36\6

Выполнили: Соболев Иван, Верещагин Егор, Р34312

Преподаватель: Тропченко Андрей Александрович

Санкт-Петербург
2024

Содержание

1.	Цель	3
2.	Выполнение	3
2.1.	Исходные данные.....	3
3.	ЗСеМО.....	4
3.1.	Описание модели	4
3.2.	Предположения и допущения.....	5
3.3.	Разработка имитационной модели	5
3.4.	Проведение имитационных экспериментов	7
3.5.	Результаты имитационного моделирования	11
4.	РСеМО	14
4.1.	Рассчитанные значения коэффициентов передач для узлов сети:	14
4.2.	Предположения и допущения.....	14
4.3.	Разработка имитационной модели	15
4.4.	Проведение имитационных экспериментов.....	17
4.5.	Определение предельной интенсивности поступления заявок, при которой в сети отсутствуют перегрузки.	19
4.6.	Результаты имитационного моделирования	20
5.	Выводы.....	23

1. Цель

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.

2. Выполнение

2.1. Исходные данные

Таблица 1. Структурные параметры и количество заявок ЗСеМО.

Вариант	Кол-во узлов	Количество приборов в узлах				Номер узла	Тип модели
		У1	У2	У3	У4		
36	4	2	1	1	2	3	М3

Таблица 2. Вероятности передач и средние длительности обслуживания заявок в узлах ЗСеМО.

Вариант	Вероятность передач			Средние длительности обслуживания			
	P10	P12	P13	B1	B2	B3	B4
6	0,2	0,3	0,3	1	15	10	6,4

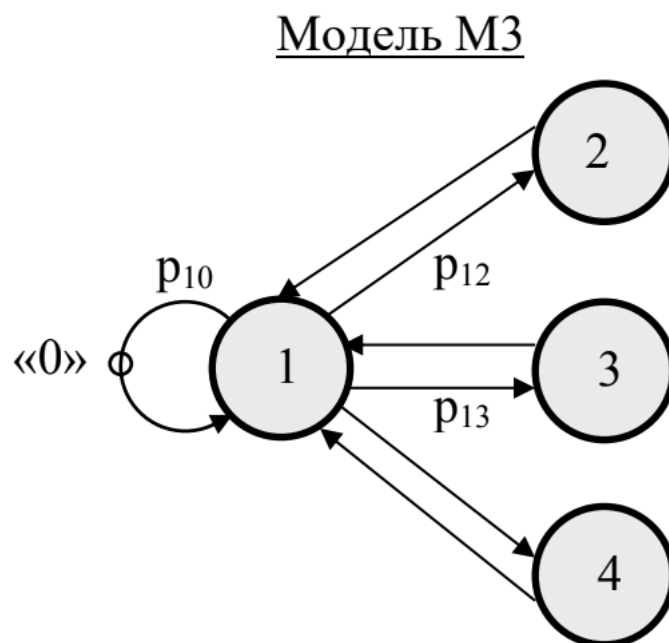


Рисунок 1. Граф модели.

3. ЗСеМО

3.1. Описание модели

- Сеть массового обслуживания – замкнутая четырехузловая.
- Количество приборов в узлах: узлы 2, 3 и 4 – одноканальные, узел 1 – четырехканальный.
- Поток заявок однородный.
- Средние длительности обслуживания заявок в узлах
ЗСеМО: $b_1=1$, $b_2=15$, $b_3=10$, $b_4=6,4$
- Вероятности передач:

Таблица 3. Матрица вероятностей передач.

	0	1	2	3	4
0		1			
1	0,2		0,3	0,3	0,2
2		1			
3		1			
4		1			

- Рассчитанные значения коэффициентов передач для узлов сети:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_0 = 0.2 a_1 \\ a_1 = a_0 + a_2 + a_3 + a_4 \\ a_2 = 0.3 a_1 \\ a_3 = 0.3 a_1 \\ a_4 = 0.2 a_1 \end{array} \right.$$

Полагая $a_0 = 1$, можно найти корни системы уравнений:

$$\alpha_1 = 5$$

$$\alpha_2 = 1.5$$

$$\alpha_3 = 1.5$$

$$\alpha_4 = 1$$

- Число заявок, циркулирующих в замкнутой СеМО – варьируемый параметр, который мы будем изменять в процессе исследования.

3.2. Предположения и допущения

- Длительности обслуживания заявок во всех узлах распределены по экспоненциальному закону с интенсивностями $\mu_1 = 1/b_1$, $\mu_2 = 1/b_2$, $\mu_3 = 1/b_3$, $\mu_4 = 1/b_4$. где b_1, b_2, b_3, b_4 – средние длительности обслуживания заявок. В некоторых экспериментах будем изменять закон распределения времени обслуживания заявок в узле 3.
- Приборы в узлах У1 и У4 идентичны, любая заявка может обслуживаться в любом приборе.
- Заявка после обслуживания в У1 с вероятностью $p_{10} = 0,2$ возвращается в тот же узел 1.
- Дуга, выходящая из узла 1 и входящая обратно в этот же узел, рассматривается как внешняя по отношению к СеМО, и на ней выбирается нулевая точка «0».

3.3. Разработка имитационной модели

```
*****
*****
*                               *
*               Модель ЗСМО               *
*                               *
*****
*****
*                               *
*               И с х о д н ы е  д а н н ы е               *
*                               *
*****
*****

UZEL_1 STORAGE 2;
UZEL_2 STORAGE 1;
UZEL_3 STORAGE 1;
UZEL_4 STORAGE 2;

b1 EQU 1;
b2 EQU 15;
b3 EQU 10;
b4 EQU 6.4;

*Номер генератора для длительности обслуживания*
RN_b EQU 69;

*Параметры гипоекспоненциального распределения (Эрланга)*
k_er1 EQU 2; порядок распределения Эрланга
RN_er11 EQU 10; номер первого генератора для распределения Эрланга 2-порядка
RN_er12 EQU 20; номер второго генератора для распределения Эрланга 2-порядка
Erl_2 VARIABLE (Exponential(RN_er11,0,b3/2))+(Exponential(RN_er12,0,b3/2)); сл.величина
по закону Эрланга 2-го порядка
```

Параметры гиперэкспоненциального распределения с коэффициентом вариации 2
RN_H EQU 91; номер генератора для гиперэкспоненциального распределения
qq EQU 0.2; вероятность выбора первой фазы
tt_1 EQU 41.39; мат. ожидание первой фазы гиперэкспоненциального распределения
tt_2 EQU 4.65; мат. ожидание второй фазы гиперэкспоненциального распределения

TU_buf1 QTABLE buf1,0.1,0.1,50;
TU_buf2 QTABLE buf2,0.1,0.1,50;
TU_buf3 QTABLE buf3,0.1,0.1,50;
TU_buf4 QTABLE buf4,0.1,0.1,50;

SUM_LEN VARIABLE 0
INITIAL X\$SUM_LEN, 0
SUM_TIME VARIABLE 0
INITIAL X\$SUM_TIME, 0

*GENERATE (Exponential(RN_a,0,t_a))
*GENERATE (GetRandomNumberFromFile("numbers2.txt"))
*GENERATE (hyper1(RN_H,qq,tt_1,tt_2))
*GENERATEV\$Erl_2
GENERATE ,,9

U_1 QUEUE buf1
ENTER UZEL_1
DEPART buf1
ADVANCE (Exponential(RN_b,0,b1))
LEAVE UZEL_1
TRANSFER 0.8,,U_0
TRANSFER 0.7,,U_2
TRANSFER 0.7,,U_3
TRANSFER 0.8,,U_4

U_0 SAVEVALUE SUM_LEN,(QA\$buf1 + QA\$buf2 + QA\$buf3 + QA\$buf4)
SAVEVALUE SUM_TIME, (TB\$TU_buf1 + TB\$TU_buf2 + TB\$TU_buf3 + TB\$TU_buf4)
TRANSFER ,U_1

U_2 QUEUE buf2
ENTER UZEL_2
DEPART buf2
ADVANCE (Exponential(RN_b,0,b2))
LEAVE UZEL_2
TRANSFER ,U_1

U_3 QUEUE buf3
ENTER UZEL_3
DEPART buf3
*ADVANCE (hyper1(RN_H,qq,tt_1,tt_2))
*ADVANCE (V\$Erl_2)
ADVANCE (Exponential(RN_b,0,b3))
LEAVE UZEL_3
TRANSFER ,U_1

U_4 QUEUE buf4
ENTER UZEL_4
DEPART buf4
ADVANCE (Exponential(RN_b,0,b4))

```

LEAVE UZEL_4
TRANSFER ,U_1

```

```

GENERATE 1000000
TERMINATE 1
START 1

```

```

*****

```

```

* Процедура возвращает значение псевдослучайной величины, *
* распределенной по гиперэкспоненциальному закону, в *
* соответствии с параметрами распределения qq, tt_1, tt_2. *
*****

```

```

PROCEDURE hyperl(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;

```

3.4. Проведение имитационных экспериментов

Таблица 4. Зависимость производительности сети от числа циркулирующих в ней заявок

М	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Производительность с-1	0,012 0336 9	0,018 03147	0,015 14018	0,011 23144	0,008 4328 8	0,006 58091	0,005 3317 4	0,004 45596	0,003 81746	0,003 33540
%	-	19,09 68213 6	34,80 16845 8	33,18 63422 1	28,14 1461 3	23,42 89367 8	19,65 4187 2	16,72 58541 3	14,45 26176 3	12,66 80263 2

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,0029 6038	0,0026 6110	0,0024 1705	0,0022 1434	0,0020 4332	0,0018 9709	0,0017 7058	0,0016 6004	0,0015 6259	0,0014 7602
11,246 58518	10,097 20035	9,1541 20196	8,3695 84011	7,7085 28433	7,1449 05315	6,6591 32614	6,2363 17738	5,8650 06168	5,5362 90284

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0,0013 9859	0,0013 2891	0,0012 6587	0,0012 0856	0,0011 5621	0,0011 0822	0,0010 6406	0,0010 2329	0,000 98552	0,0009 5044
5,2431 68069	4,9800 77183	4,7425 53411	4,5269 78126	4,3303 90006	4,1503 43471	3,9848 01368	3,8320 52917	3,690 65045	3,5593 60217

31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0,0009 1778	0,0008 8728	0,0008 5874	0,0008 3198	0,0008 0684	0,0007 8317	0,000 76085	0,0007 3977	0,0007 1982	0,000 70092

3,4371 23818	3,3230 27697	3,2162 78842	3,1161 85246	3,0221 40093	2,9336 08866	2,850 11875	2,7712 49872	2,6966 28017	2,625 91852
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------	----------------

41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
0,0006 8298	0,0006 6594	0,0006 4973	0,0006 3429	0,0006 1957	0,0006 0551	0,0005 9208	0,0005 7922	0,0005 6692	0,0005 5513
2,5588 21135	2,4950 65686	2,4344 08369	2,3766 28591	2,3215 26263	2,2689 19456	2,2186 42381	2,1705 43636	2,1244 84667	2,0803 38438

51	52	53
0,00054381	0,00053295	0,00052251
2,037988251	1,997326718	1,958254844

Из данных представленной таблицы видим, что критическое число заявок M^* в нашей сети $M^* = 52$.



При найденном критическом числе заявок выявим «узкое место» сети

Таблица 5. Загрузка узлов системы при критическом числе заявок.

	У1	У2	У3	У4	Сеть
Загрузка	0.238	1	0.2	0.022	1.46

Узким местом в нашей сети является У2. Заметим, что среднее время обслуживания заявки в этом узле $b_2 = 15$ самое большое из всех имеющихся в системе. Попробуем уменьшить это значение и посмотрим на результат.

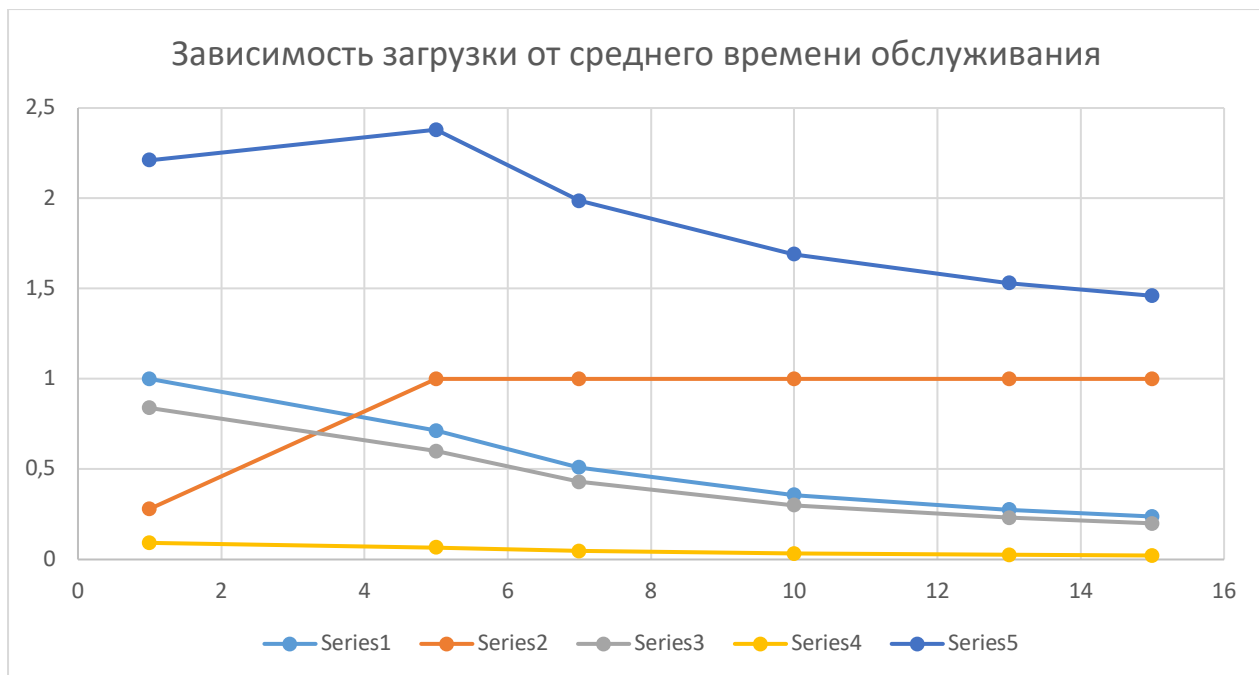
Таблица 6. Результаты устранения узкого места путем уменьшения времени обслуживания заявок.

Характеристики СеМО	b2 = 15	b2 = 13	b2 = 10	b2 = 7	b2 = 5	b4 = 1
Длина очереди	50,28	50,169	49,92	49,456	48,839	48,697
Время ожидания	755,427	653,712	501,320	349,322	248,236	74,417
Производительность	0,0005323	0,0006149 7	0,0007850 6	0,0007807 0	0,0007806 8	0,00078067

Как видно из таблицы, при уменьшении среднего времени обслуживания заявок У2, характеристики становятся лучше, так как на У2 быстрее обрабатываются заявки. При этом максимальная производительность достигается при $b2 = 10$. Таким образом, для нашей системы оптимальным временем обслуживания У2 является 5 секунд.

Таблица 7. Загрузка узлов системы при изменении среднего времени обслуживания заявок в У2.

b2	У1	У2	У3	У4	Сеть
15	0,238	1	0,2	0,022	1,46
13	0,275	1	0,231	0,025	1,53
10	0,357	1	0,3	0,033	1,69
7	0,510	1	0,429	0,047	1,99
5	0,714	1	0,6	0,066	2,38
1	1	0,280	0,839	0,092	2,21



Как видно по графику при уменьшении значения времени обслуживания на У2 до значения 5, общая загрузка сети и остальных узлов растет, после данного значения загрузка системы начинает падать, на остальных узлах также начинает падать. Эти данные хорошо коррелируют с данными предыдущей таблицы, где видно что после увеличения времени обслуживания на приборе более 5, такие характеристики как длина очереди, время ожидания начинают расти, производительность системы падает. Это связано с повышением нагрузки на этих узлах.

Теперь попробуем увеличить число обслуживающих приборов в данном узле.

Таблица 8. Результаты устранения узкого места путем увеличения количества обслуживающих приборов.

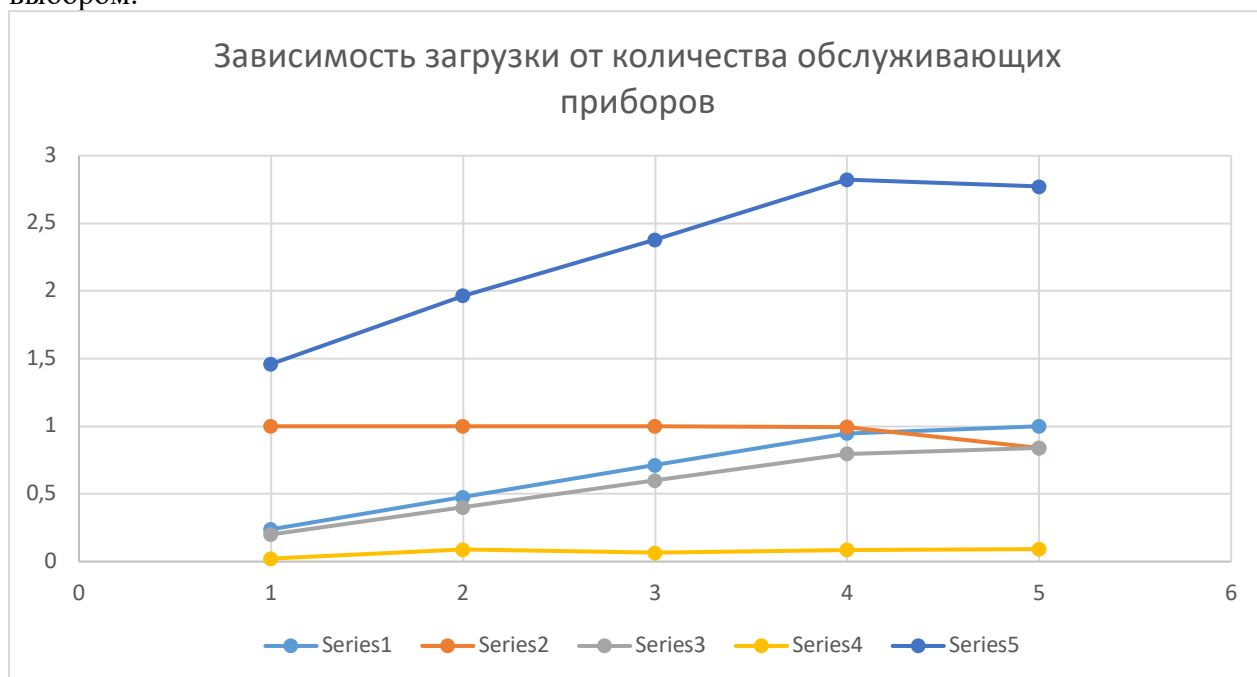
Характеристики СеМО	K2 = 1	K2 = 2	K2 = 3	K2 = 4	K2 = 5
Длина очереди	50,28	48,559	46,840	45,161	44,770
Время ожидания	755,427	367,038	238,355	154,474	82,506
Производительность	0,00053	0,00062	0,00071	0,00078	0,00081

Как видно из таблицы, данная оптимизация довольно быстро позволила устранить “бутылочное горлышко”, причем остальные характеристики системы также стали намного лучше. Выбираем $k_2 = 4$, как оптимальный вариант по соотношению устройств к приросту характеристик.

Таблица 9. Загрузка узлов системы при изменении количества обслуживающих приборов в У2.

b2	У1	У2	У3	У4	Сеть
K2 = 1	0,238	1	0,2	0,022	1,46
K2 = 2	0,476	1	0,4	0,088	1,96
K2 = 3	0,714	1	0,6	0,066	2,38
K2 = 4	0,947	0,994	0,795	0,087	2,82
K2 = 5	1	0,840	0,840	0,092	2,77

Как видно по загрузке сети четыре обслуживающих прибора являются наилучшим выбором.



Выбираем данный метод как лучший, и будем использовать 4 прибора на 4м устройстве.

3.5. Результаты имитационного моделирования

В качестве способа устранения узкого места выберем увеличение количества приборов в узле k2=4.

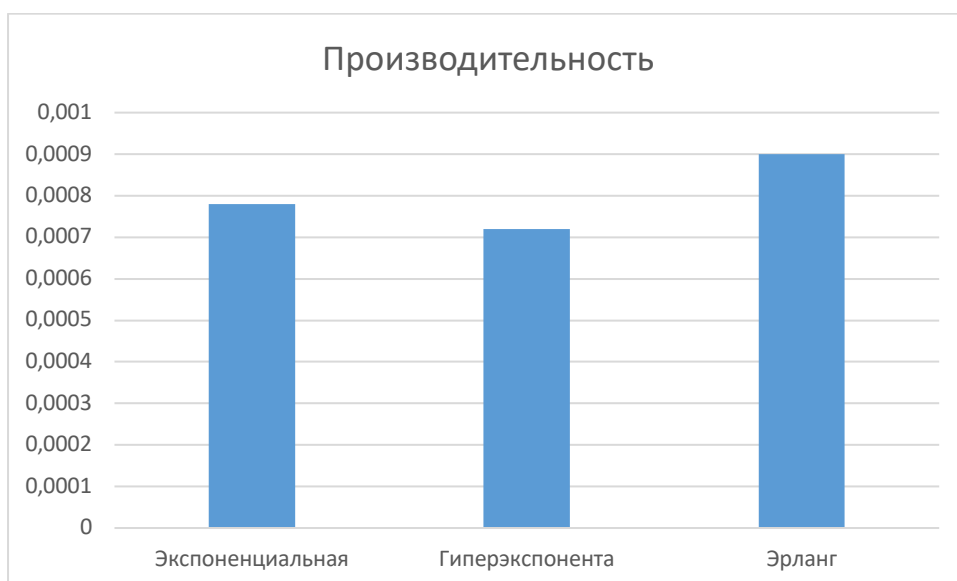
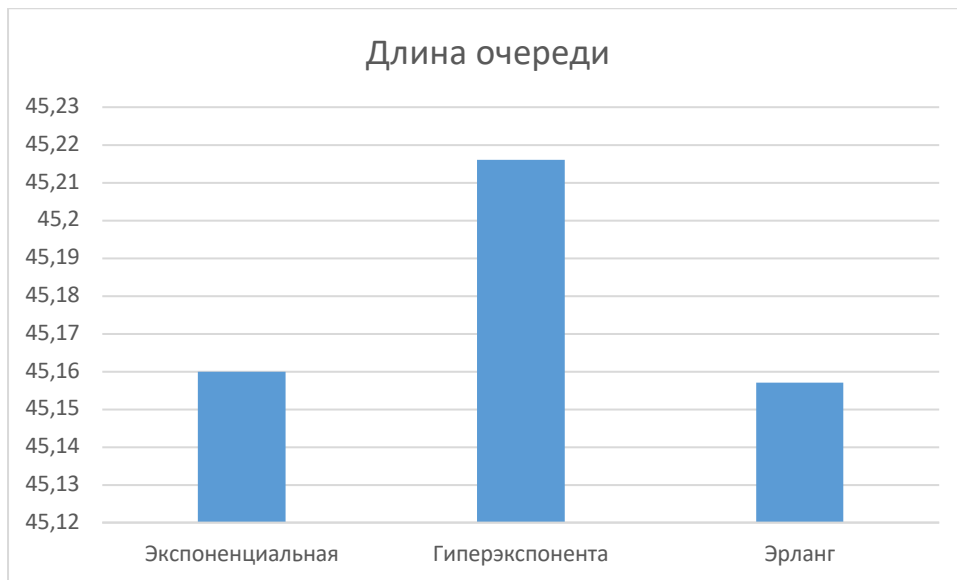
Результаты имитационного моделирования для ЗСеМО. Длительность моделирования 1000000. Количество заявок 52

	ЗСеМО-экспоненциальная				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,947	0,994	0,795	0,087	2,823
Длина очереди	13,178	28,938	3,043	0,001	45,16
Время ожидания	6,961	109,177	38,286	0,049	154,473
Производительность	0,00078				

	ЗСеМО-неэкспоненциальная (Гиперэкспонента)				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,918	0,964	0,923	0,084	2,889
Длина очереди	11,01	17,594	16,611	0,001	45,216
Время ожидания	5,999	68,467	215,513	0,047	290,026
Производительность	0,00072				

	ЗСеМО-неэкспоненциальная (Эрланг)				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,947	0,994	0,796	0,087	2,824
Длина очереди	13,232	29,523	2,401	0,001	45,157
Время ожидания	6,986	111,344	30,168	0,05	148,548
Производительность	0,00090				





Представленные результаты моделирования ожидаемо говорят нам о том, что использование распределения Эрланга показывает наилучшие характеристики, так как имеет меньшую степень разброса.

4. РСеМО

- Сеть массового обслуживания – разомкнутая четырехузловая.
- Количество приборов в узлах: узлы 2, 3 и 4 – одноканальные, узел 1 – четырехканальный.
- Поток заявок однородный.
- Ёмкость накопителей в узлах сети – не ограничена, то есть в сети не может быть потери заявок.
- Средние длительности обслуживания заявок в узлах РСеМО: $b_1=1$, $b_2=15$, $b_3=10$, $b_4=6,4$
- Интенсивность поступления заявок $\lambda_0 = 0,0009$, тогда среднее время между поступлением заявок $a = 1/\lambda_0 = 1111$
- Вероятности передач:

Таблица 3. Матрица вероятностей передач.

	0	1	2	3	4
0		1			
1	0,2		0,3	0,3	0,2
2		1			
3		1			
4		1			

4.1. Рассчитанные значения коэффициентов передач для узлов сети:

$$\begin{cases} a_0 = 0.2 a_1 \\ a_1 = a_0 + a_2 + a_3 + a_4 \\ a_2 = 0.3 a_1 \\ a_3 = 0.3 a_1 \\ a_4 = 0.2 a_1 \end{cases}$$

Полагая $a_0 = 1$, можно найти корни системы уравнений:

$$\alpha_1 = 5$$

$$\alpha_2 = 1.5$$

$$\alpha_3 = 1.5$$

$$\alpha_4 = 1$$

4.2. Предположения и допущения

Поступающие в разомкнутую СеМО заявки образуют простейший поток с интенсивностью λ_0 .

4.3. Разработка имитационной модели

```
*****
*****
*                               *
*               Модель РСМО               *
*                               *
*****
*****
*                               *
*               Исходные данные               *
*                               *
*****
*****

UZEL_1 STORAGE 2;
UZEL_2 STORAGE 4;
UZEL_3 STORAGE 1;
UZEL_4 STORAGE 2;

b1 EQU 1;
b2 EQU 15;
b3 EQU 10;
b4 EQU 6.4;

t_a EQU 1111;

T_U TABLE M1,40,40,30; *время пребывания в сети

*Номер генератора для длительности обслуживания*
RN_b EQU 69;

*Параметры гипоекспоненциального распределения (Эрланга)*
k_er1 EQU 2; порядок распределения Эрланга
RN_er11 EQU 10; номер первого генератора для распределения Эрланга 2-порядка
RN_er12 EQU 20; номер второго генератора для распределения Эрланга 2-порядка
Erl_2 VARIABLE (Exponential(RN_er11,0,b3/2))+(Exponential(RN_er12,0,b3/2));
сл.величина по закону Эрланга 2-го порядка

RN_er111 EQU 11; номер первого генератора для распределения Эрланга 2-порядка
RN_er121 EQU 22; номер второго генератора для распределения Эрланга 2-порядка
Erl_1 VARIABLE (Exponential(RN_er111,0,t_a/2))+(Exponential(RN_er121,0,t_a/2));
сл.величина по закону Эрланга 2-го порядка

*Параметры гиперэкспоненциального распределения с коэффициентом вариации 2*
RN_H EQU 91; номер генератора для гиперэкспоненциального распределения
qq EQU 0.2; вероятность выбора первой фазы
tt_1 EQU 41.39; мат. ожидание первой фазы гиперэкспоненциального распределения
tt_2 EQU 4.65; мат. ожидание второй фазы гиперэкспоненциального распределения

RN_H1 EQU 92; номер генератора для гиперэкспоненциального распределения
qq1 EQU 0.2; вероятность выбора первой фазы
tt_11 EQU 358.75; мат. ожидание первой фазы гиперэкспоненциального распределения
tt_21 EQU 40.31; мат. ожидание второй фазы гиперэкспоненциального распределения
```

```

TU_buf1 QTABLE buf1,0.1,0.1,50;
TU_buf2 QTABLE buf2,0.1,0.1,50;
TU_buf3 QTABLE buf3,0.1,0.1,50;
TU_buf4 QTABLE buf4,0.1,0.1,50;

SUM_LEN VARIABLE 0
  INITIAL X$SUM_LEN,0
SUM_TIME VARIABLE 0
  INITIAL X$SUM_TIME,0
SUM_UTIL VARIABLE 0
  INITIAL X$SUM_UTIL,0

GENERATE t_a
*GENERATE (Exponential(RN_b,0,t_a))
*GENERATE (GetRandomNumberFromFile("numbers.txt"))
*GENERATE (hyper1(RN_H1,qq1,tt_11,tt_21))
*GENERATE V$Erl_1

U_1 QUEUE buf1
  ENTER UZEL_1
  DEPART buf1
  ADVANCE (Exponential(RN_b,0,b1))
  LEAVE UZEL_1
  TRANSFER 0.8,,U_0
  TRANSFER 0.7,,U_2
  TRANSFER 0.7,,U_3
  TRANSFER 0.8,,U_4

U_0 SAVEVALUE SUM_LEN,(QA$buf1 + QA$buf2 + QA$buf3 + QA$buf4)
  SAVEVALUE SUM_TIME,(TB$TU_buf1 + TB$TU_buf2 + TB$TU_buf3 + TB$TU_buf4)
  SAVEVALUE SUM_UTIL,((SR$UZEL_1 + SR$UZEL_2 + SR$UZEL_3 + SR$UZEL_4) /
1000)
  TABULATE T_U
  TERMINATE 1

U_2 QUEUE buf2
  ENTER UZEL_2
  DEPART buf2
  ADVANCE (Exponential(RN_b,0,b2))
  LEAVE UZEL_2
  TRANSFER ,U_1

U_3 QUEUE buf3
  ENTER UZEL_3
  DEPART buf3
  *ADVANCE (hyper1(RN_H,qq,tt_1,tt_2))
  ADVANCE (V$Erl_2)
  *ADVANCE (Exponential(RN_b,0,b3))
  LEAVE UZEL_3
  TRANSFER ,U_1

```



```

U_4 QUEUE buf4
ENTER UZEL_4
DEPART buf4
ADVANCE (Exponential(RN_b,0,b4))
LEAVE UZEL_4
TRANSFER ,U_1

START 100000

*****
* 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;

```

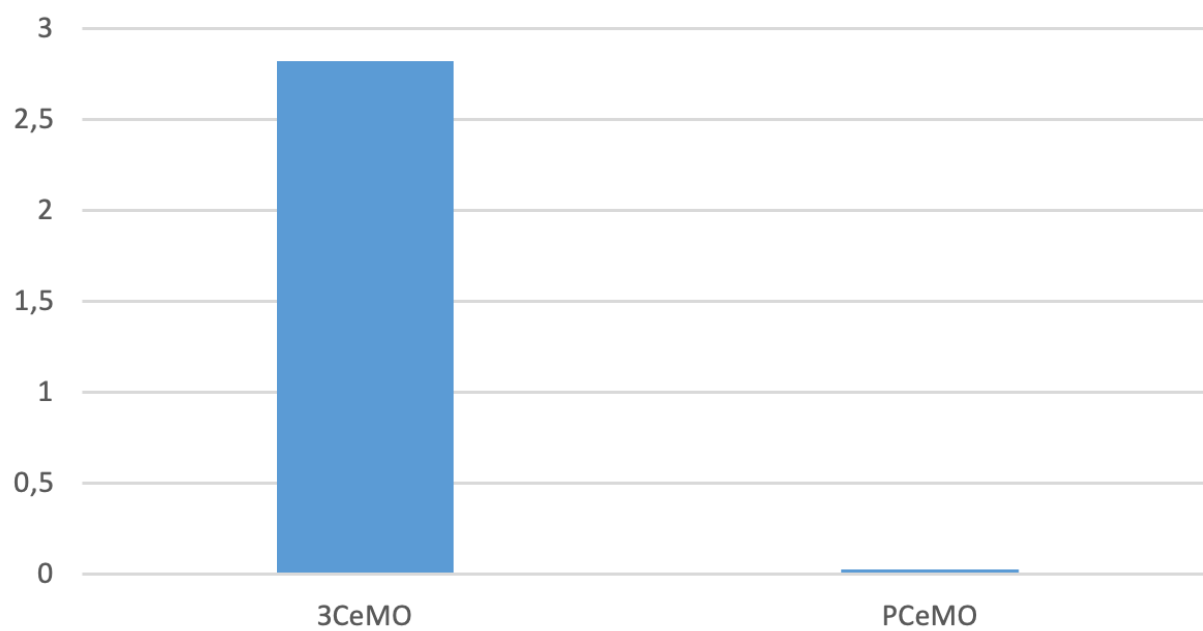
4.4. Проведение имитационных экспериментов

Сравнение с ЗСеМО

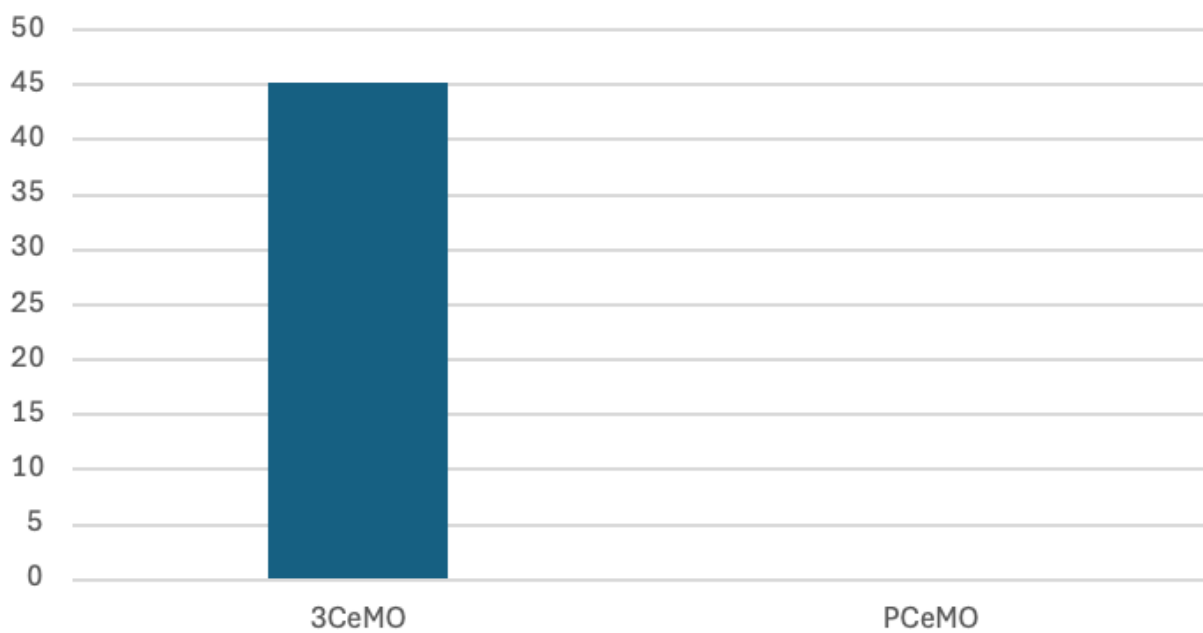
Таблица 12. Сравнение характеристик функционирования систем

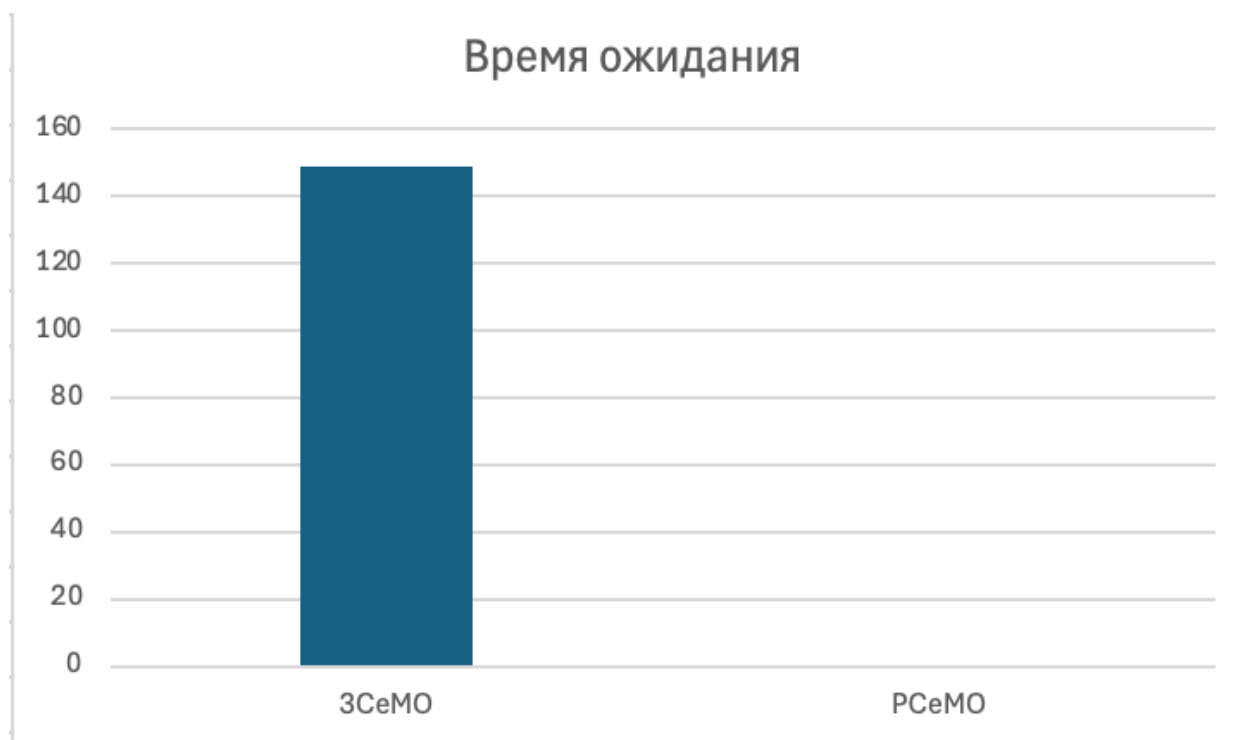
Характеристики СеМО	ЗСеМО	РСеМО
Длина очереди	45,157	0
Время ожидания	148,548	0
Загрузка	2,824	0,002
Число заявок	52	1000000

Загрузка



Длина очереди





4.5. Определение предельной интенсивности поступления заявок, при которой в сети отсутствуют перегрузки.

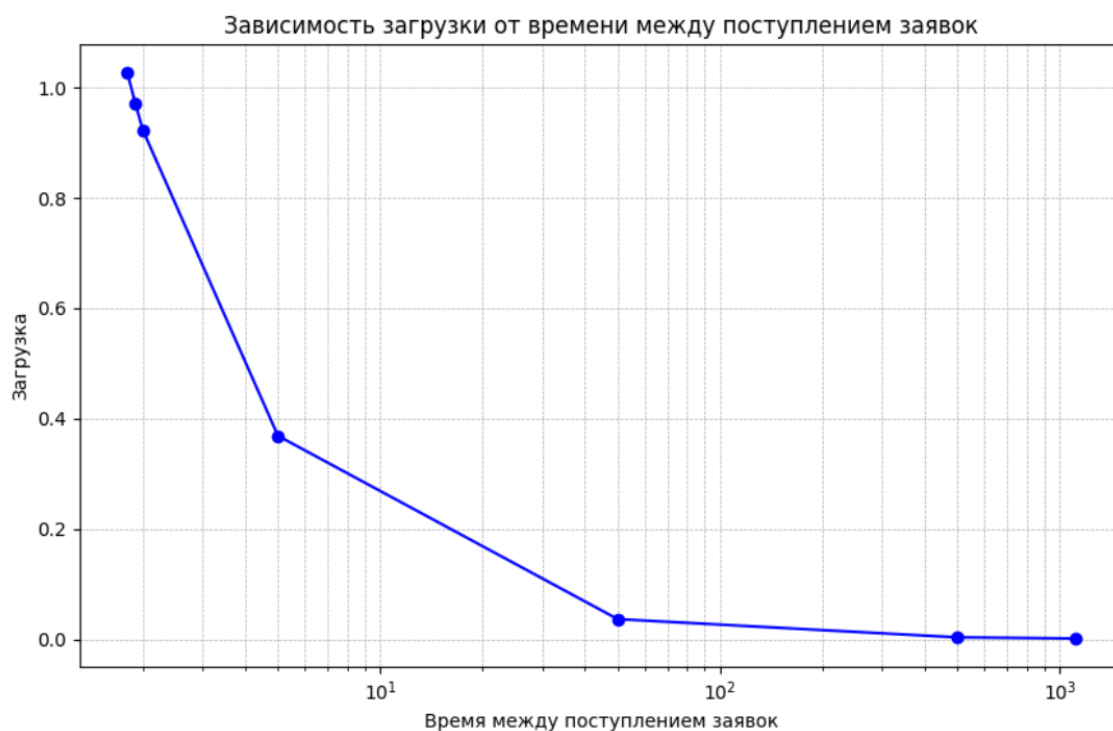
При проведении предыдущего эксперимента в качестве значения интенсивности простейшего потока поступления заявок в сеть мы брали значение производительность 3CeMO, откуда среднее время между поступлением заявок $a = 1111$.

Сеть плохо загружена. Уменьшая значение a , определим предельную интенсивность поступления заявок в PCeMO, при которой в сети отсутствуют перегрузки.

Таблица 13. Определение предельной интенсивности.

Среднее время между поступлением заявок	1111	500	50	5	2	1.9	1.8
Длина очереди	0	0	0	0,07	0,092	0,110	0,131
Время ожидания	0	0	0,006	0,686	2,611	2,859	3,136
Время пребывания	4,472	4,472	4,472	4,506	4,657	4,685	4,714
Число заявок	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000
Загрузка	0,002	0,004	0,037	0,369	0,923	0,972	1,027
Интенсивность	0,001	0,002	0,020	0,200	0,500	0,526	0,556

Таким образом, определяем искомое значение среднего времени между поступлением заявок $a = 1.9$, откуда интенсивность = 0,526.



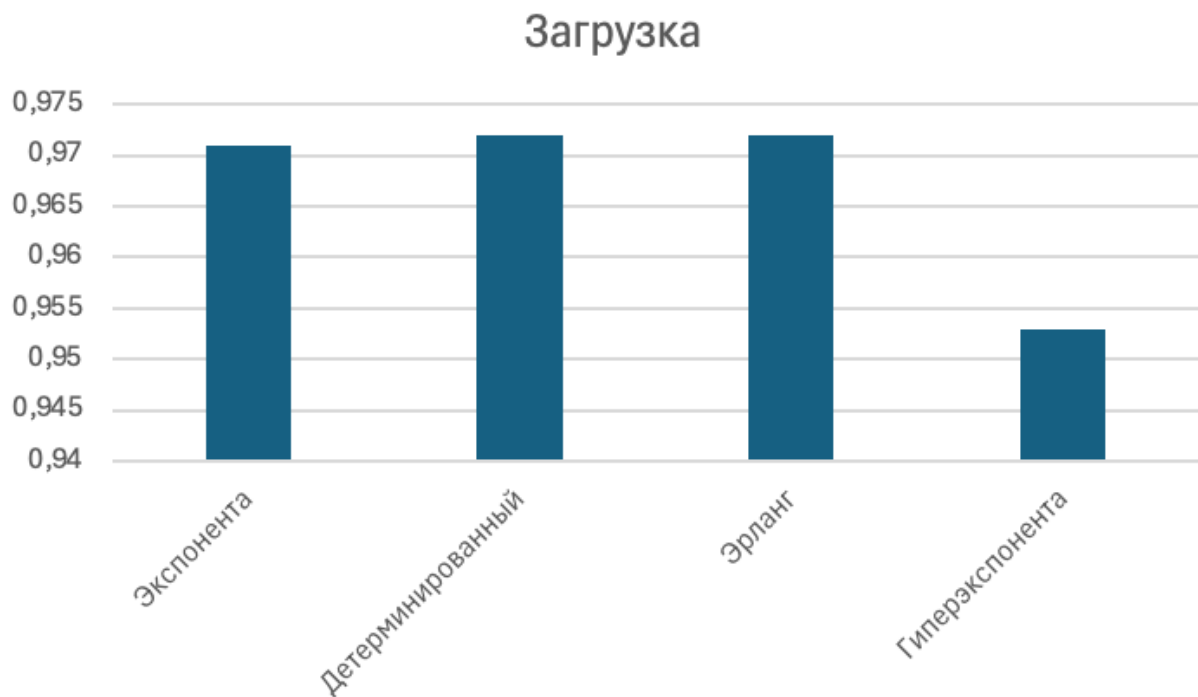
4.6. Результаты имитационного моделирования

	РСМО-детерминированная				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,327	0,342	0,273	0,03	0,972
Длина очереди	0,017	0,021	0,071	0	0,110
Время ожидания	0,026	0,235	2,593	0,006	2,859
Число заявок	1243819	173884	52049	17886	1487638

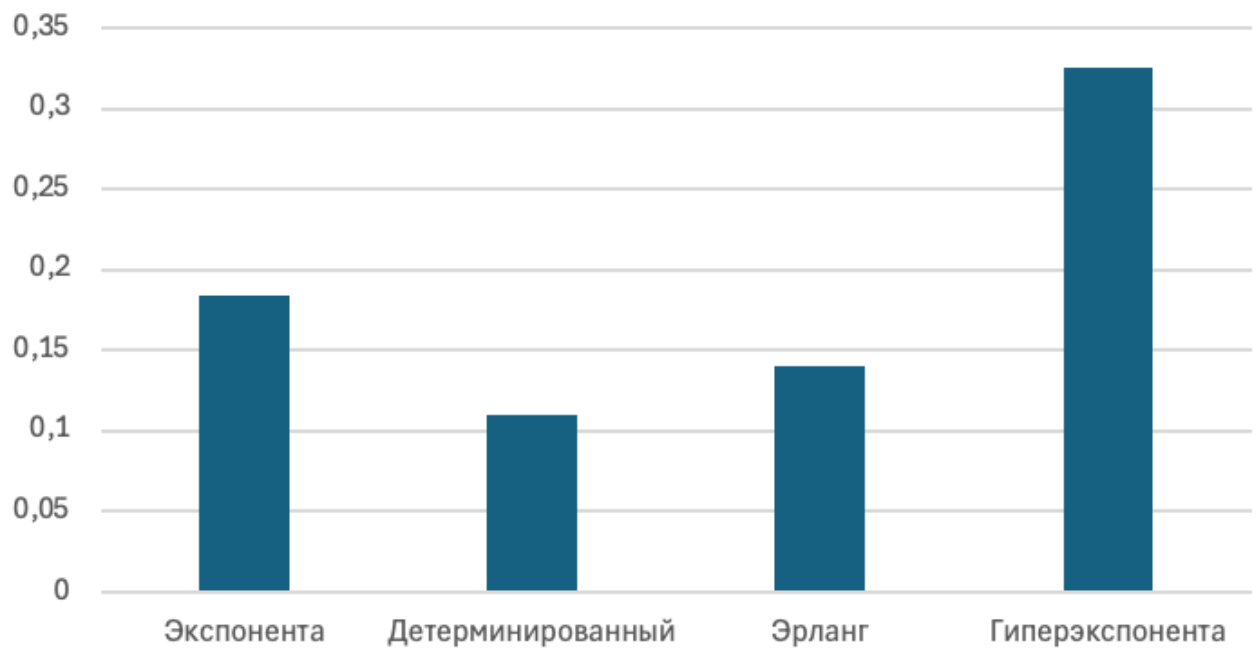
	РСМО- экспоненциальная				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,327	0,342	0,272	0,03	0,971
Длина очереди	0,078	0,028	0,078	0	0,184
Время ожидания	0,119	0,307	2,855	0,006	3,287
Число заявок	1243819	173884	52049	17886	1487638

	PCeMO-Эрланг				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,327	0,342	0,273	0,03	0,972
Длина очереди	0,041	0,025	0,074	0	0,14
Время ожидания	0,063	0,273	2,709	0,006	3,051
Число заявок	1243819	173884	52049	17886	1487638

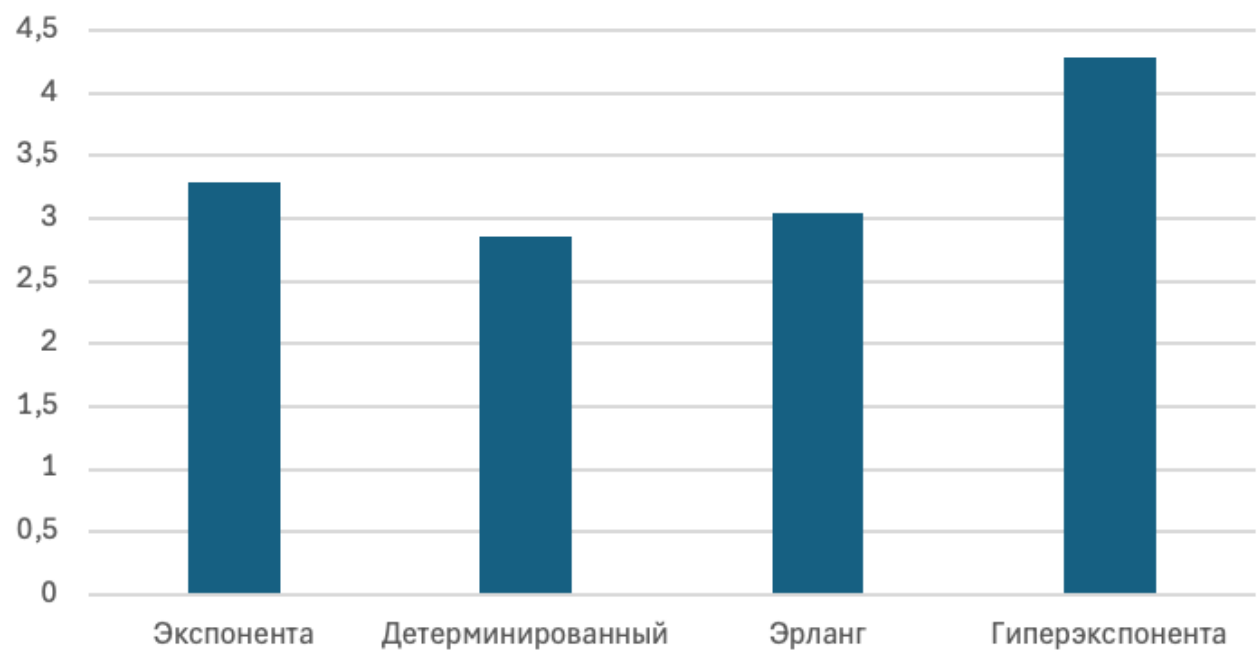
	PCeMO-гиперэкспонента				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,325	0,339	0,269	0,02	0,953
Длина очереди	0,1	0,128	0,098	0	0,326
Время ожидания	0,217	0,317	3,655	0,09	4,279
Число заявок	1243819	173884	52049	17886	1487638



Длина очереди



Время ожидания



Как и ожидалось самые лучшие результаты мы имеем, когда входящий поток заявок детерминированный. Далее идет Эрланг, экспоненциальный, и самый худший для нашей системы - гиперэкспоненциальный.

5. Выводы

Исследовали свойства 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.

Полученные результаты схожи с результатами моделирования СеМО - при уменьшении коэффициента вариации в РССеМО производительность увеличивается.

В нашем случае для РССеМО удалось добиться лучших показателей, чем для ЗСеМО.

Увеличение количества обрабатывающих приборов для узла, показывает лучшие результаты, чем уменьшение времени обслуживания.

Критическое число заявок ЗСеМО равно 52.