

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
“НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО”
Факультет ПИиКТ



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ОТЧЁТ

По лабораторной работе:

Вариант: 20/10

Исследование СМО произвольного вида

По предмету: Моделирование

Студенты:

Андрейченко Леонид Вадимович

Степанов Михаил Алексеевич

Группа Р34301

Преподаватель:

Алиев Тауфик Измайлович

Санкт-Петербург

2023

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.

Задачи

Разработка имитационных моделей и проведение модельных экспериментов с целью исследования зависимостей характеристик функционирования от параметров и выявления свойств замкнутых и разомкнутых СеМО, а также сравнительный анализ эффективности разомкнутых и замкнутых СеМО.

Исследования выполняются с применением имитационного моделирования в среде GPSS World.

Выполнение

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		
20	4	2	1	1	2	2	М2

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

Вариант	Вероятность передач			Средние длительности обслуживания			
	Р10	Р12	Р13	В1	В2	В3	В4
10	0,2	0,5	0,1	10	12	15,5	25

Модель M2

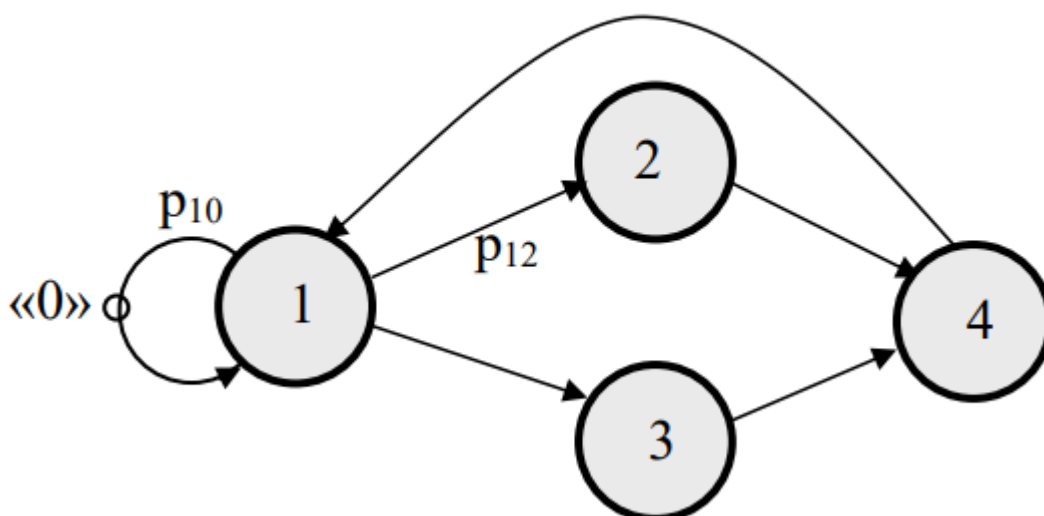


Рисунок 1. Граф модели.

ЗСеМО

Описание модели

- Сеть массового обслуживания – замкнутая четырехузловая.
- Количество приборов в узлах: узлы 2 и 3 – одноканальные, узлы 1 и 4 – двухканальные.
- Поток заявок однородный.
- Средние длительности обслуживания заявок в узлах ЗСеМО:
 $b_1=10$, $b_2=12$, $b_3=15,5$, $b_4=25$
- Вероятности передач:

Таблица 3. Матрица вероятностей передач.

	0	1	2	3	4
0		1			
1	0,2		0,5	0,3	
2					1
3					1
4		1			

- Рассчитанные значения коэффициентов передач для узлов сети:
 $\alpha_1 = 5$ $\alpha_2 = 2,5$ $\alpha_3 = 1,5$ $\alpha_4 = 4$
- Число заявок, циркулирующих в замкнутой СеМО – варьируемый параметр, который мы будем изменять в процессе исследования.

Предположения и допущения

- Длительности обслуживания заявок во всех узлах распределены по экспоненциальному закону с интенсивностями $\mu_1 = \frac{1}{b_1}$, $\mu_2 = \frac{1}{b_2}$, $\mu_3 = \frac{1}{b_3}$, $\mu_4 = \frac{1}{b_4}$. 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 2
- Приборы в двухканальных узлах У1 и У4 идентичны, и 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».

Разработка имитационной модели

```

*****
*                                     *
*                               Модель ЭСМО                               *
*                                     *
*                               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  4;

b1      EQU      10;
b2      EQU      12;
b3      EQU      15.5;
b4      EQU      25;

*Номер генератора для длительности обслуживания*
RN_b     EQU      69;

* Параметры гипокспоненциального распределения (Эрланга):
k_erl    EQU      2; порядок распределения Эрланга
RN_erl1  EQU      10; номер первого генератора для распределения Эрланга 2-го порядка
RN_erl2  EQU      20; номер второго генератора для распределения Эрланга 2-го порядка
Er1_2    VARIABLE (Exponential(RN_erl1,0,b2/2))+ (Exponential(RN_erl2,0,b2/2)); сл. величина по закону Эрланга 2-го порядка

* Параметры гиперэкспоненциального распределения:
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;

```

```

*****
* В качестве исполняемого оставить только ОДИН оператор GENERATE *
*****
SUM_LEN VARIABLE 0
        INITIAL X$SUM_LEN,0
SUM_TIME VARIABLE 0
        INITIAL X$SUM_TIME,0

*GENERATE t_a
*GENERATE (Exponential(RN_a,0,t_a))
*GENERATE (GetRandomNumberFromFile("numbers.txt"))
*GENERATE (hyperl(RN_H, qq, tt_1, tt_2))
*GENERATE V$Er1_2|
GENERATE ,,,9

U_1      QUEUE    buf1
        ENTER    UZEL_1
        DEPART   buf1
        ADVANCE   (Exponential(RN_b,0,b1))
        LEAVE     UZEL_1
        TRANSFER  0.2,,U_0
        TRANSFER  0.625,,U_2
        TRANSFER  ,U_3

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 (hyperl(RN_H, qq, tt_1, tt_2))
        ADVANCE   (Exponential(RN_b,0,b2))
        *ADVANCE (V$Er1_2)
        LEAVE     UZEL_2
        TRANSFER  ,U_4

U_3      QUEUE    buf3
        ENTER    UZEL_3
        DEPART   buf3
        ADVANCE   (Exponential(RN_b,0,b3))
        LEAVE     UZEL_3
        TRANSFER  ,U_4

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;

```

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	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
%	-	48,83%	27,05%	15,76%	9,16%	5,81%	3,48%	3,39%	1,59%	0,71%

Из данных представленной таблицы видим, что критическое число заявок M^* в нашей сети $M^* = 9$.

Производительность системы в зависимости от количества заявок

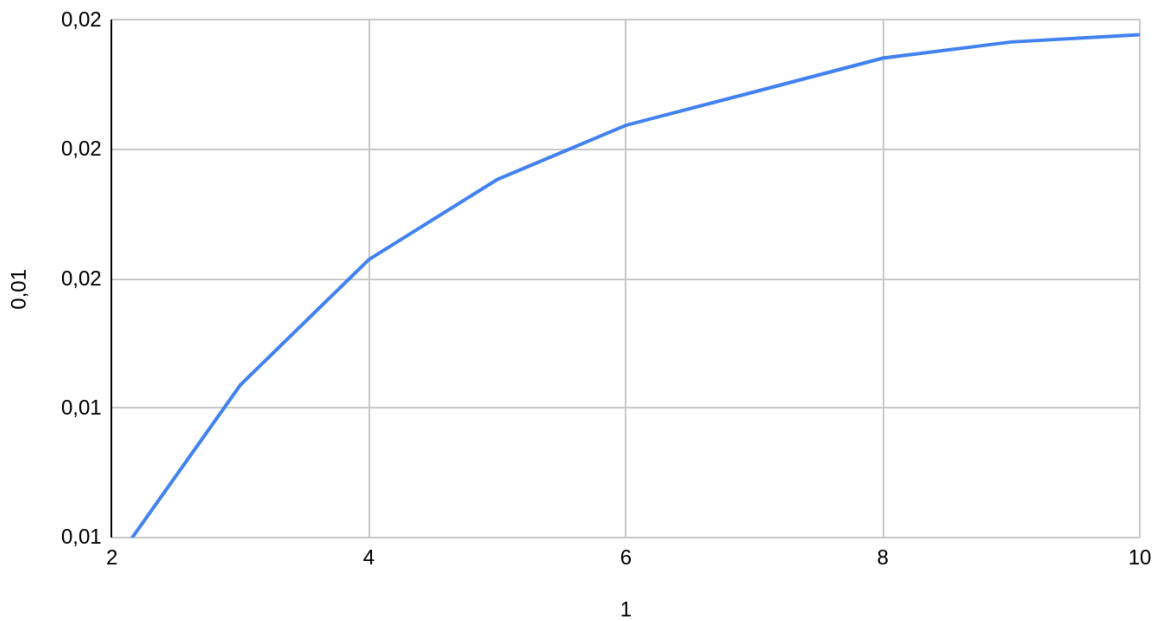


Рисунок 2. График зависимости производительности от заявок.

При найденном критическом числе заявок выявим «узкое место» сети

Таблица 5. Загрузка узлов системы при критическом числе заявок.

	У1	У2	У3	У4	Сеть
Загрузка	0,488	0,583	0,452	0,970	2,493

Узким местом в нашей сети является У4, на который всегда прилетают заявки из У2 и У3. Заметим, что среднее время обслуживания заявки в этом узле $b_4 = 25$ 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	$b_4 = 25$	$b_4 = 20$	$b_4 = 15$	$b_4 = 14$	$b_4 = 13$	$b_4 = 12$	$b_4 = 11$	$b_4 = 10$
Длина очереди	5,049	4,796	4,664	4,679	4,709	4,743	4,791	4,86
Время ожидания	77,101	68,244	65,086	65,022	65,763	65,965	66,753	67,749
Время пребывания	96,376	89,1	81,102	78,079	78,563	77,684	77,174	77,814
Производительность	0,020	0,023	0,027	0,027	0,028	0,028	0,029	0,029

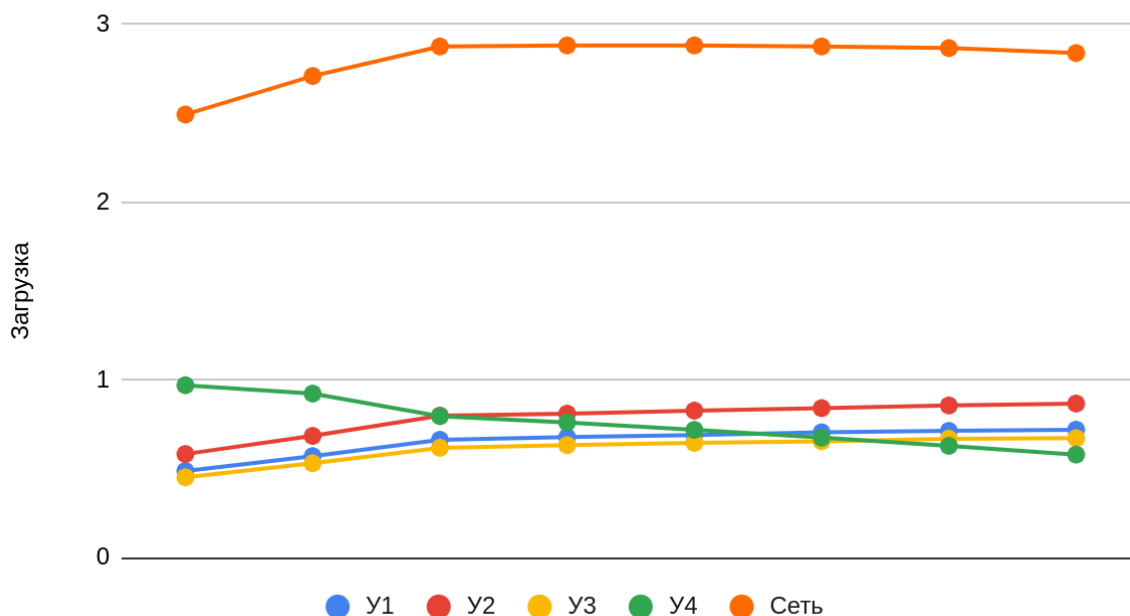
Как видно из таблицы, при уменьшении среднего времени обслуживания заявок У4, производительность системы увеличивается, в то время как остальные характеристики (длина очереди, время ожидания и время пребывания) изменяются с параболическим характером. Таким образом для оптимизации системы необходимо найти такое значение времени обслуживания, при котором указанные характеристики имеют наименьшее значение. В нашем случае оптимальным временем обслуживания является 15 секунд.

Так как мы имеем замкнутую сему, то мы можем увеличивать время обслуживания до минимума, при этом производительность системы, основная сетевая характеристика ЗСеМО, будет расти.

Таблица 7. Загрузка узлов системы при изменении среднего времени обслуживания заявок в У4.

b4	У1	У2	У3	У4	Сеть
b4 = 25	0,488	0,583	0,452	0,97	2,493
b4 = 20	0,571	0,685	0,531	0,923	2,71
b4 = 15	0,663	0,799	0,618	0,796	2,876
b4 = 14	0,678	0,81	0,633	0,761	2,882
b4 = 13	0,69	0,827	0,646	0,719	2,882
b4 = 12	0,705	0,841	0,655	0,675	2,876
b4 = 11	0,713	0,856	0,669	0,629	2,867
b4 = 10	0,72	0,867	0,672	0,58	2,839

Зависимость загрузки от среднего времени обслуживания



Как видно по графику при уменьшении значения времени обслуживания на 4м приборе до значения 15, общая загрузка сети и остальных узлов растет, после данного значения загрузка системы начинает падать, а на остальных узлах очень медленно расти. Эти данные хорошо коррелируют с данными предыдущей таблицы, где видно что после уменьшения времени обслуживания на приборе до 15, такие характеристики как длина очереди, время ожидания начинают расти. 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	k4 = 2	k4 = 3	k4 = 4	k4 = 5	k4 = 6
Длина очереди	5,049	3,927	3,559	3,444	3,397
Время ожидания	77,101	57,573	53,609	52,399	51,793
Время пребывания	99,376	78,264	73,282	72,548	71,351
Производительность	0,020	0,025	0,027	0,027	0,028

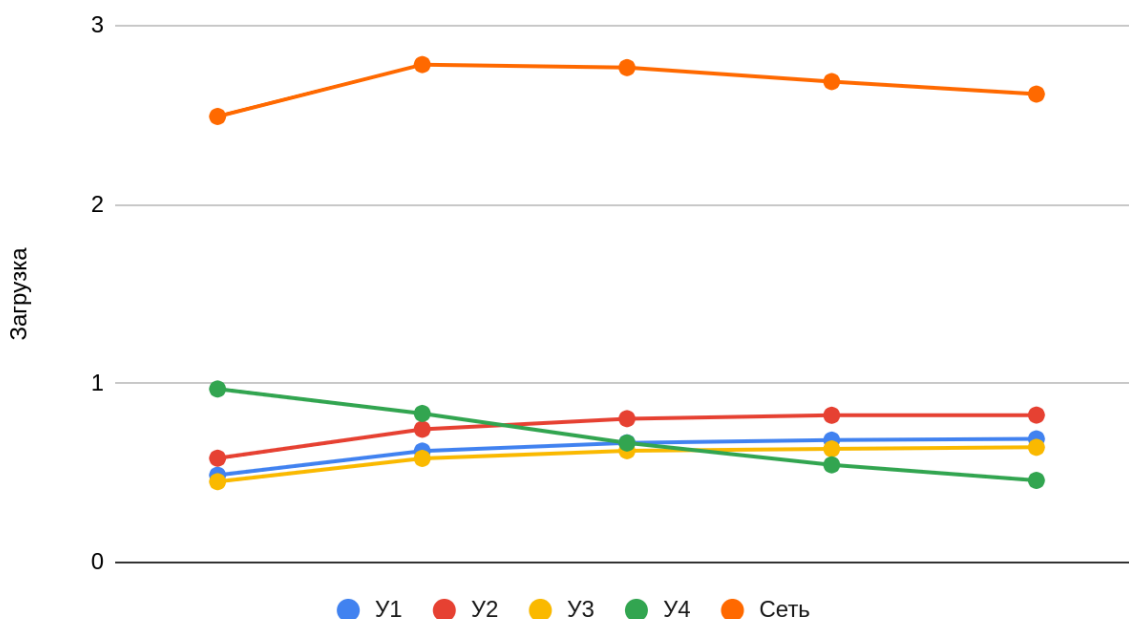
Как видно из таблицы, данная оптимизация довольно быстро позволила устранить “бутылочное горлышко”, причем остальные характеристики системы намного лучше. Выбираем $k4 = 4$, как оптимальный вариант по соотношению устройств к приросту характеристик.

Таблица 9. Загрузка узлов системы при изменении количества обслуживающих приборов в У4.

b4	У1	У2	У3	У4	Сеть
k4 = 2	0,488	0,583	0,452	0,97	2,493
k4 = 3	0,623	0,745	0,582	0,833	2,728
k4 = 4	0,669	0,804	0,625	0,668	2,766
k4 = 5	0,684	0,823	0,635	0,546	2,688
k4 = 6	0,691	0,824	0,644	0,459	2,618

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

Зависимость загрузки от количества обслуживаемых приборов



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

Результаты имитационного моделирования

В качестве способа устранения узкого места выберем увеличение количества приборов в узле $k_4=4$.

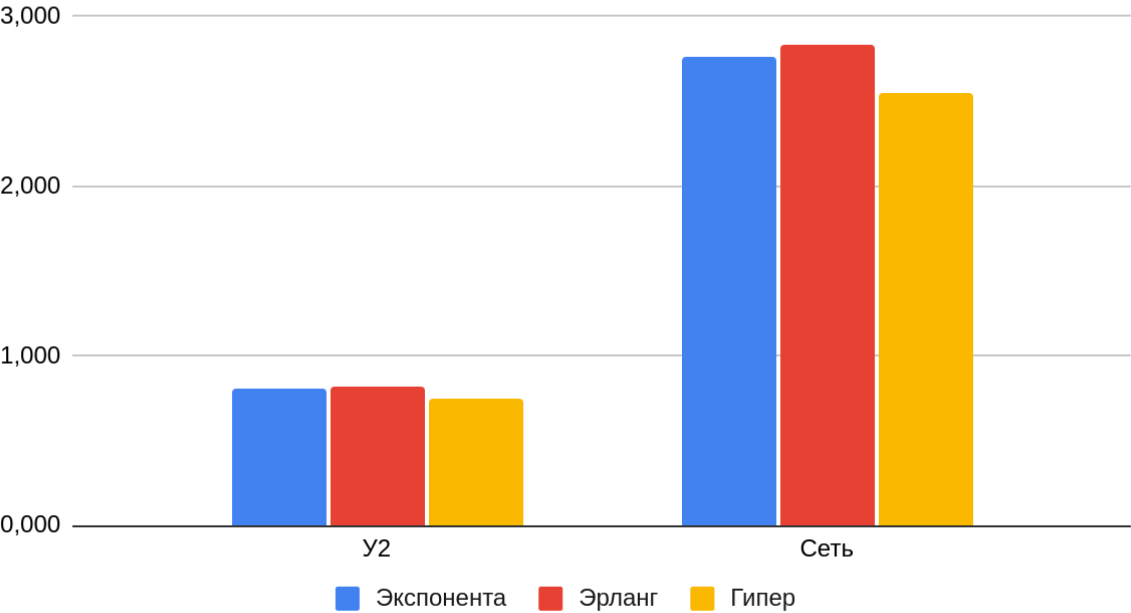
Результаты имитационного моделирования для 3СеМО. Длительность моделирования 1000000. Количество заявок 9

Характеристики СеМО	3СеМО-экспоненциальная				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,669	0,804	0,625	0,668	2,766
Длина очереди	0,692	1,702	0,781	0,384	3,559
Время ожидания	5,164	25,482	19,375	3,589	53,610
Производительность	0,027				

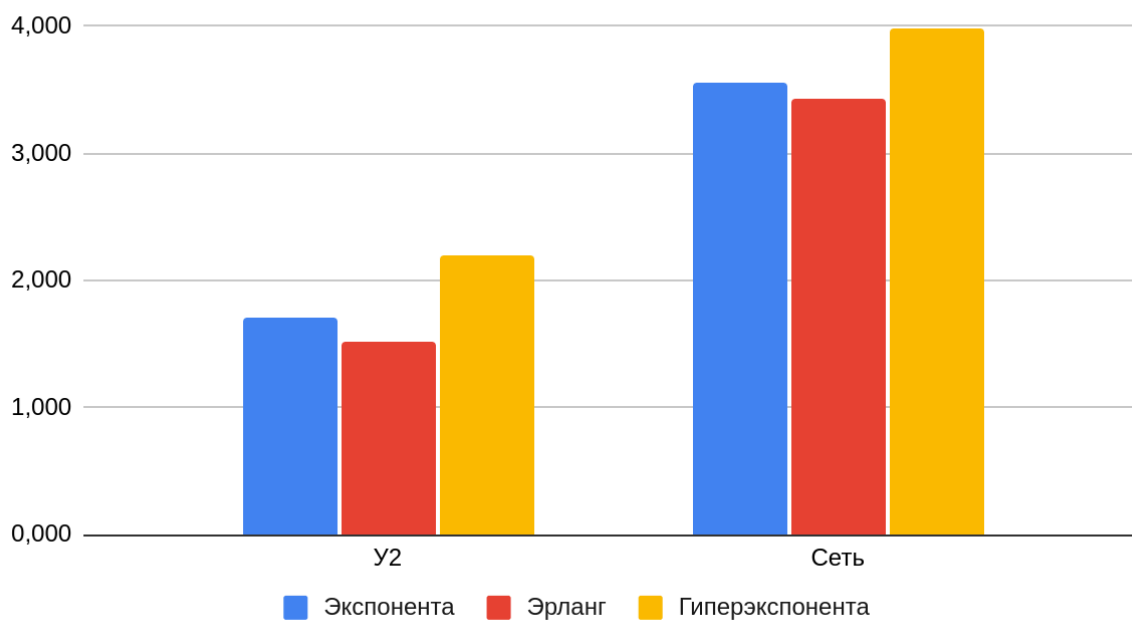
Характеристики СеМО	ЗСеМО-неэкспоненциальная (Эрланг)				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,686	0,818	0,642	0,686	2,832
Длина очереди	0,711	1,523	0,819	0,373	3,426
Время ожидания	5,177	22,237	19,835	3,396	50,645
Производительность	0,028				

Характеристики СеМО	ЗСеМО-неэкспоненциальная (Гиперэкспонента)				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,615	0,746	0,574	0,617	2,552
Длина очереди	0,655	2,194	0,685	0,448	3,982
Время ожидания	5,315	35,605	18,490	4,538	63,948
Производительность	0,025				

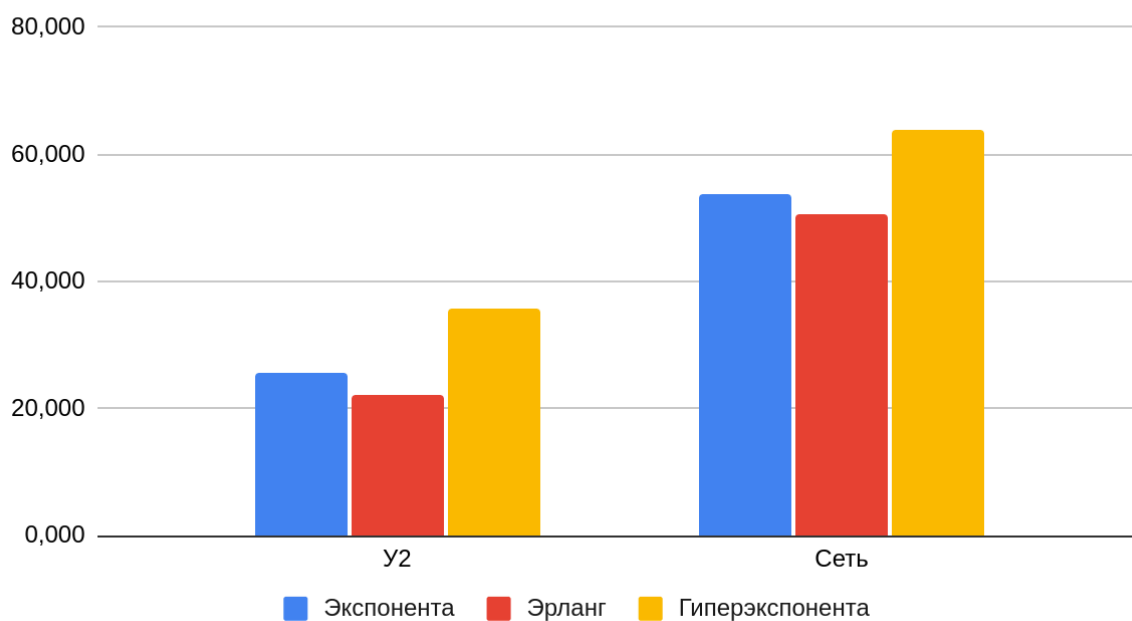
Загрузка



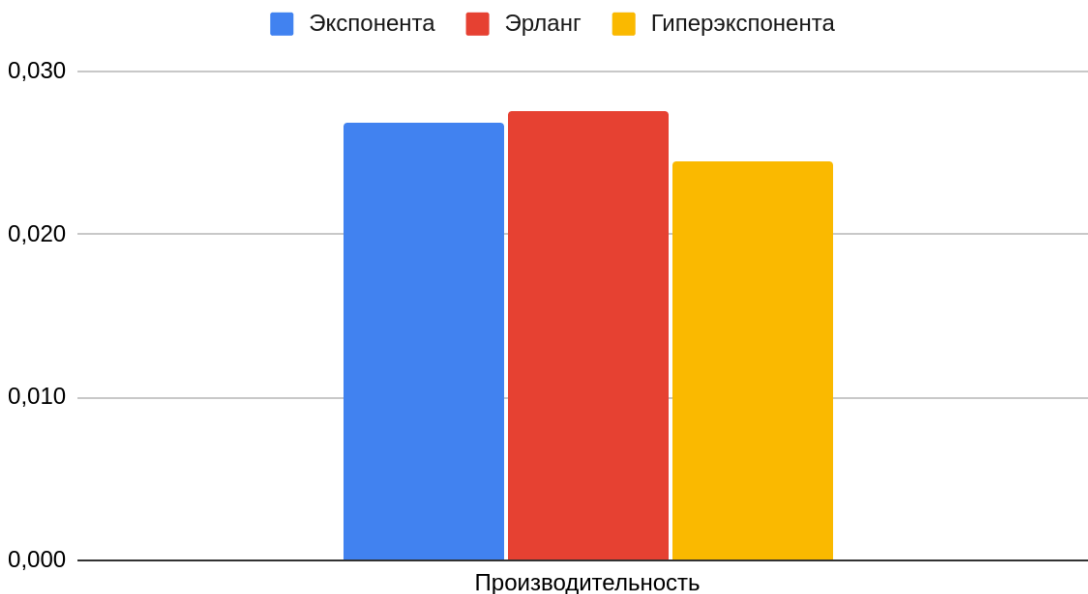
Длина очереди



Время ожидания



Производительность



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

PCeMO

- Сеть массового обслуживания – замкнутая четырехузловая.
- Количество приборов в узлах: узлы 2 и 3 – одноканальные, узлы 1 и 4 – двухканальные.
- 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 PCeMO:
 $b_1=2$, $b_2=5,5$, $b_3=10$, $b_4=12$
- Интенсивность поступления заявок $\lambda_0 = 0,027$, тогда среднее время между поступлением заявок $a = 37$
- Вероятности передач:

Таблица 11. Матрица вероятностей передач.

	0	1	2	3	4
0		1			
1	0,2		0,5	0,3	
2					1
3					1
4		1			

- Рассчитанные значения коэффициентов передач для узлов сети:
 $\alpha_1 = 5 \quad \alpha_2 = 2,5 \quad \alpha_3 = 1,5 \quad \alpha_4 = 4$

Предположения и допущения

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

Имитационная модель

```

*
*                               Модель PCeMO
*
*****
*                               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   4;

b1        EQU       10;
b2        EQU       12;
b3        EQU       15.5;
b4        EQU       25;

t_a       EQU       104;|

*Номер генератора для длительности обслуживания*
RN_b      EQU       69;

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

* Параметры гипотенциального распределения (Эрланга):
k_er1     EQU       2; порядок распределения Эрланга
RN_er11   EQU       10; номер первого генератора для распределения Эрланга 2-го порядка
RN_er12   EQU       20; номер второго генератора для распределения Эрланга 2-го порядка
Er1_2     VARIABLE  (Exponential(RN_er11,0,b2/2))+(Exponential(RN_er12,0,b2/2)); сл.величина по закону Эрланга 2-го порядка

RN_er111  EQU       11; номер первого генератора для распределения Эрланга 2-го порядка
RN_er121  EQU       22; номер второго генератора для распределения Эрланга 2-го порядка
Er1_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:
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;

```

```

*GENERATE t_a
*GENERATE (Exponential(RN_b,0,t_a))
*GENERATE (GetRandomNumberFromFile("numbers.txt"))
GENERATE (hyperl(RN_H1, qq1, tt_11, tt_21))
*GENERATE V$Er1_1

```

```

U_1      QUEUE      buf1
          ENTER      UZEL_1
          DEPART      buf1
          ADVANCE      (Exponential(RN_b,0,b1))
          LEAVE      UZEL_1
          TRANSFER      0.2,,U_0
          TRANSFER      0.625,,U_2
          TRANSFER      ,U_3

```

```

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      (hyperl(RN_H, qq, tt_1, tt_2))
          *ADVANCE      (Exponential(RN_b,0,b2))
          ADVANCE      (V$Er1_2)
          LEAVE      UZEL_2
          TRANSFER      ,U_4

```

```

U_3      QUEUE      buf3
          ENTER      UZEL_3
          DEPART      buf3
          ADVANCE      (Exponential(RN_b,0,b3))
          LEAVE      UZEL_3
          TRANSFER      ,U_4

```

```

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 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;

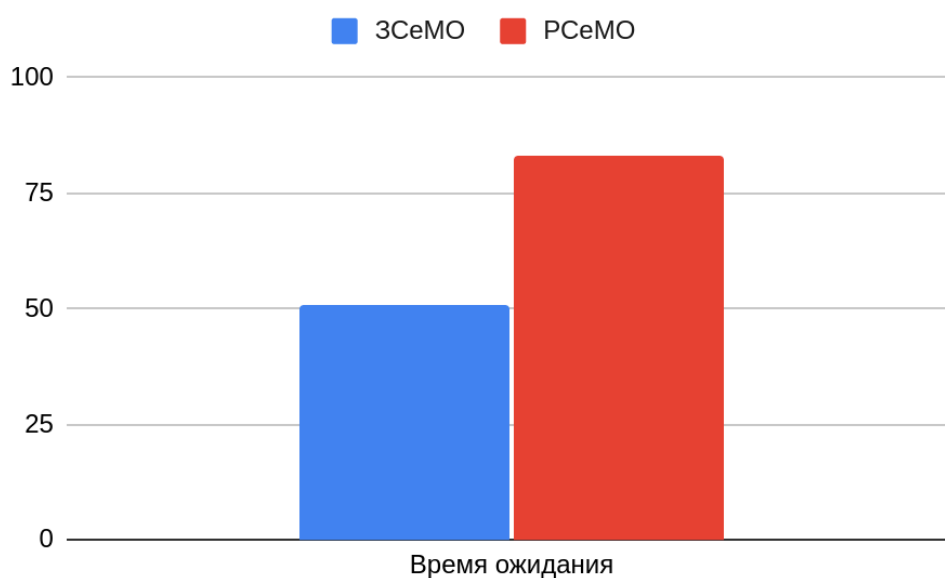
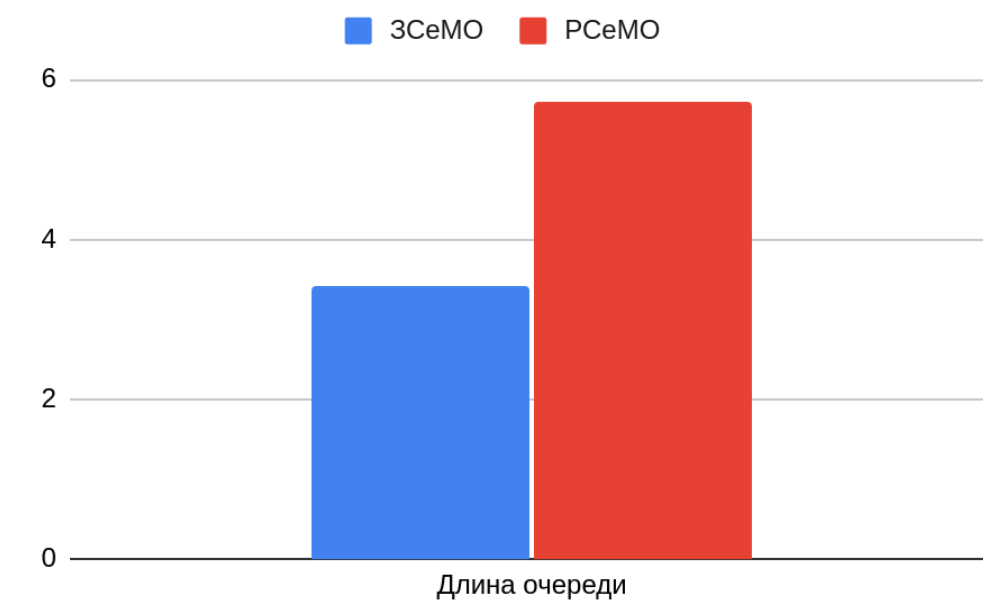
```

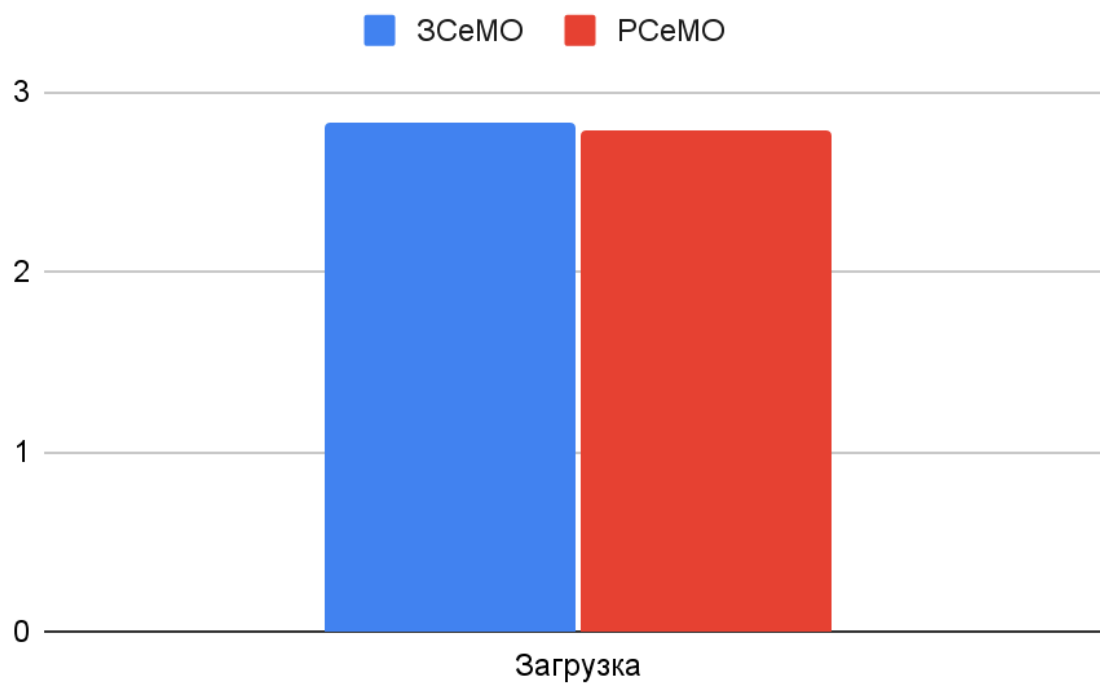
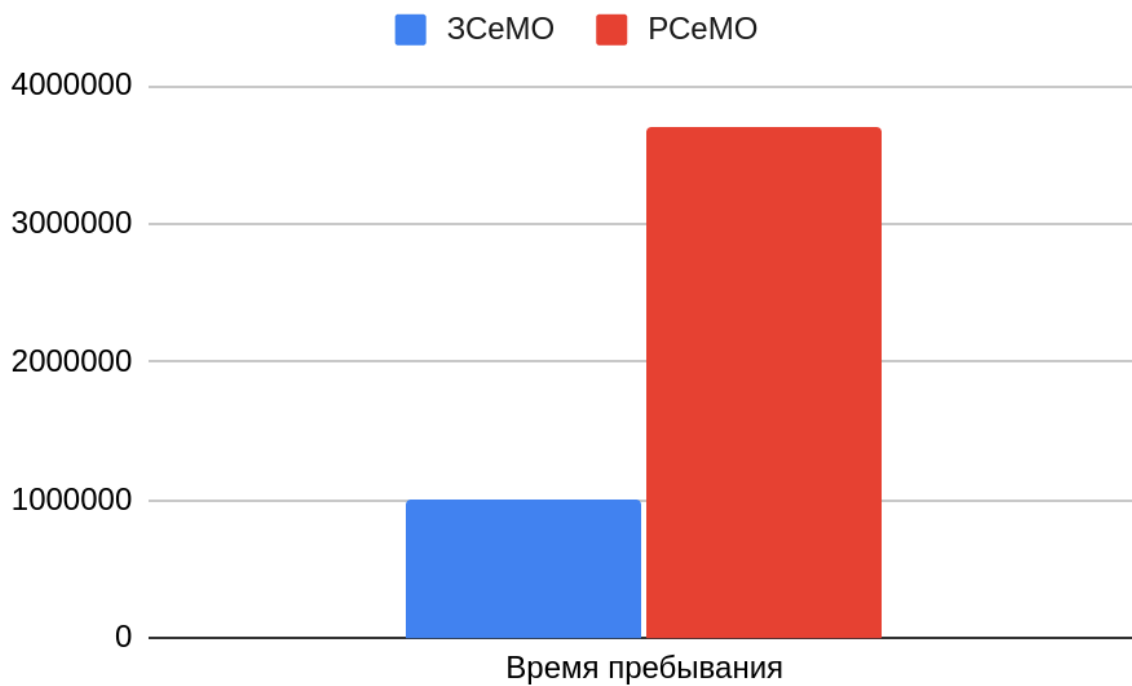
Проведение имитационных экспериментов

Сравнение с ЗСеМО

Таблица 12. Сравнение характеристик функционирования систем

Характеристики СеМО	ЗСеМО	РСеМО
Длина очереди	3,426	5,717
Время ожидания	50,645	83,013
Время пребывания	61,776	98,231
Загрузка	2,832	2,786
Число заявок	9	100000





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 ЗСеМО , откуда среднее время между поступлением заявок $a = 37$. Сеть перегружена. Изменяя значение a , определим предельную интенсивность поступления заявок в РСеМО, при которой в сети отсутствуют перегрузки.

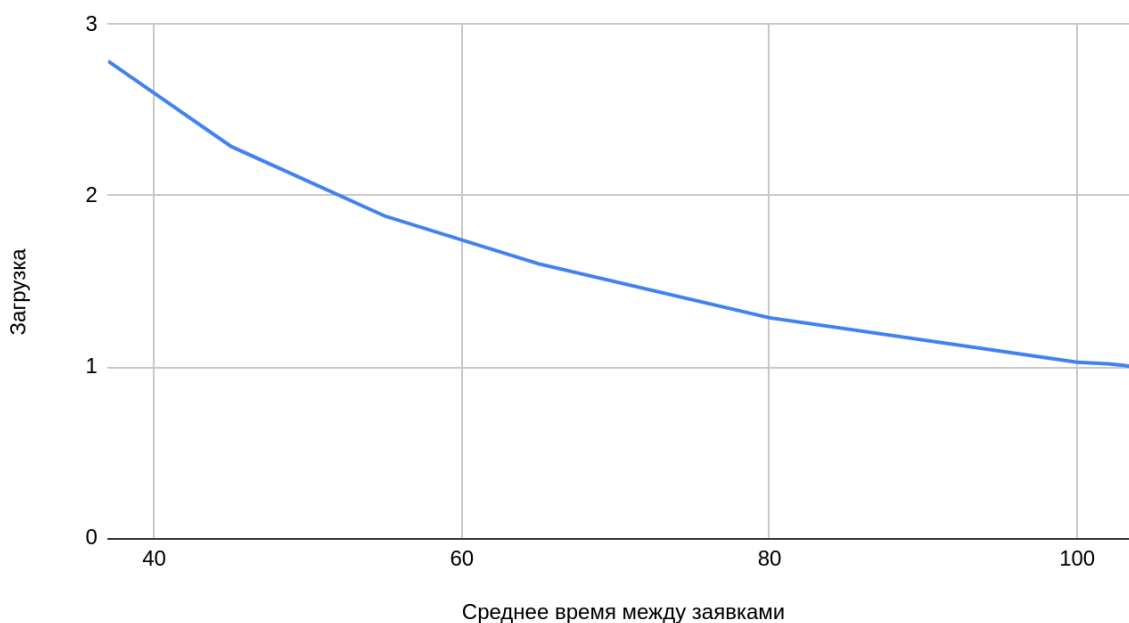
Таблица 13. Определение предельной интенсивности.

Среднее время между поступлением заявок	37	45	55	65	80
Длина очереди	5,717	2,342	1,175	0,706	0,381
Время ожидания	83,013	43,02	26,938	19,617	13,463
Время пребывания	98,231	55,28	41,883	32,299	26,474
Число заявок	100000	100000	100000	100000	100000
Загрузка	2,786	2,287	1,881	1,602	1,287
Интенсивность	0,027	0,022	0,018	0,015	0,013

Среднее время между поступлением заявок	37	45	55	65	80	100	102	103	104
Длина очереди	5,717	2,342	1,175	0,706	0,381	0,207	0,203	0,119	0,192
Время ожидания	83,013	43,02	26,938	19,617	13,463	9,403	9,353	9,237	9,068
Время пребывания	98,231	55,28	41,883	32,299	26,474	21,844	21,547	21,322	21,127
Число заявок	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000
Загрузка	2,786	2,287	1,881	1,602	1,287	1,028	1,018	1,009	0,996
Интенсивность	0,027	0,022	0,018	0,015	0,013	0,010	0,010	0,010	0,010

Таким образом, определяем искомое значение среднего времени между поступлением заявок $a = 104$, откуда интенсивность = 0.009.

Зависимость загрузки от времени между поступлением заявок



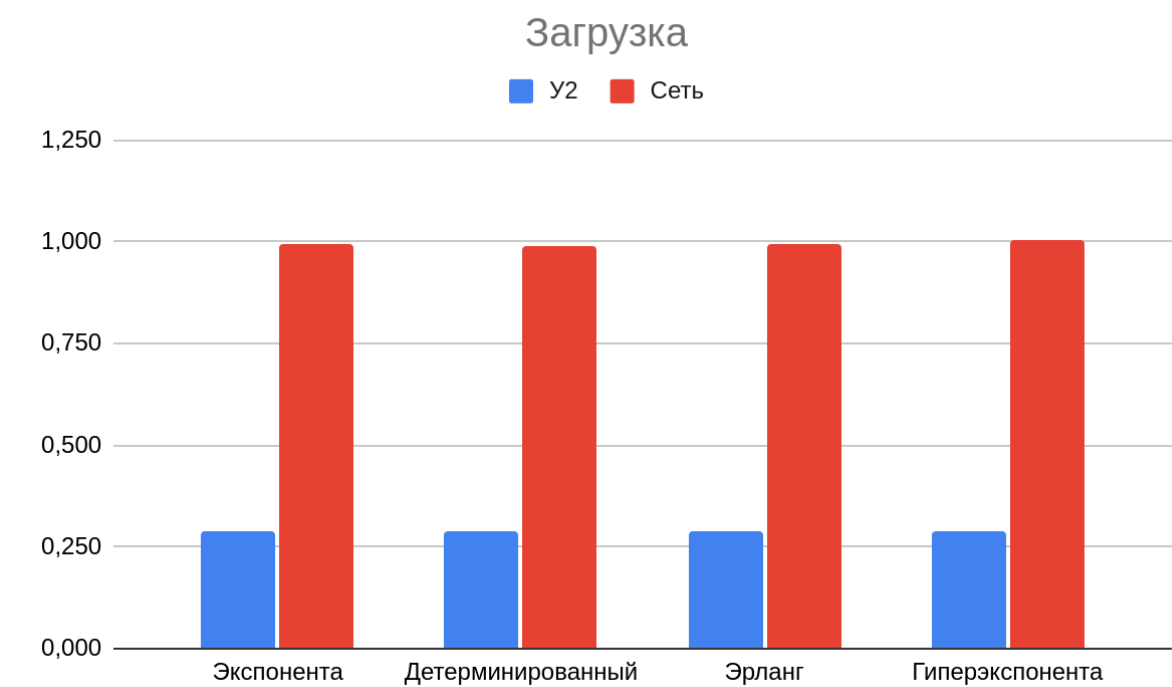
Результаты имитационного моделирования

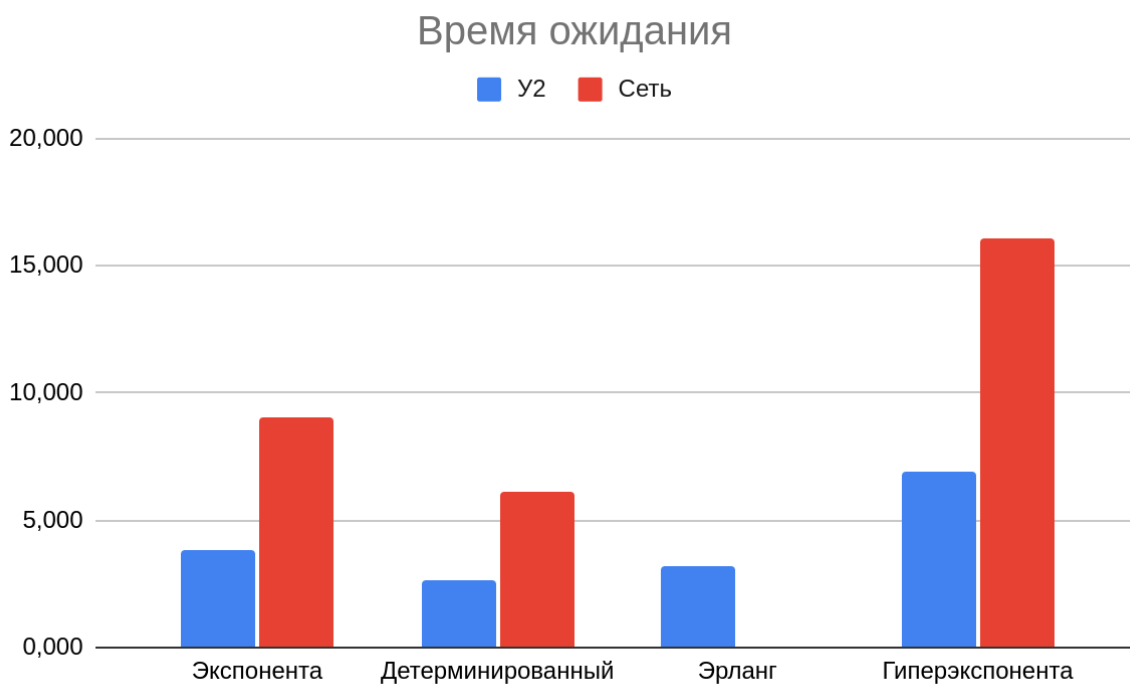
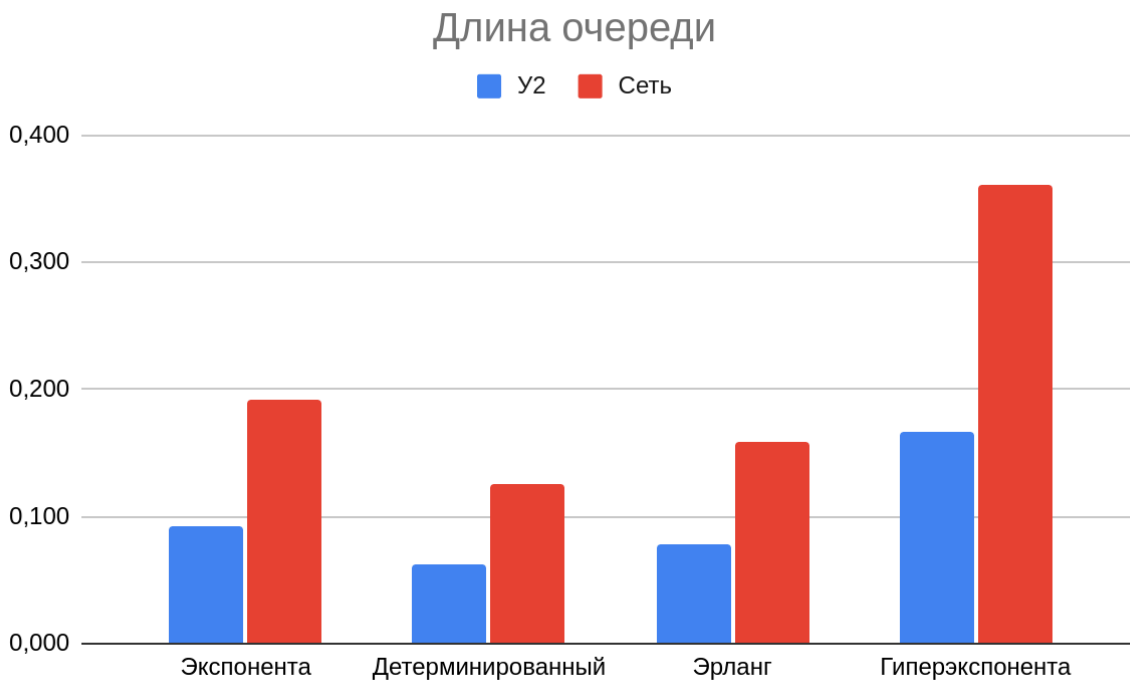
Характеристики СеМО	PCeMO-экспоненциальная				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,241	0,289	0,224	0,242	0,996
Длина очереди	0,029	0,093	0,065	0,005	0,192
Время ожидания	0,603	3,845	4,495	0,124	9,067
Число заявок	499861	249749	150111	399860	1299581

Характеристики СеМО	PCeMO-детерминированный				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,240	0,288	0,223	0,240	0,991
Длина очереди	0,014	0,063	0,047	0,001	0,125
Время ожидания	0,285	2,605	3,248	0,019	6,157
Число заявок	499861	249749	150111	399860	1299581

Характеристики СеМО	РСеМО-Эрланг				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,241	0,289	0,225	0,241	0,996
Длина очереди	0,021	0,078	0,057	0,002	0,158
Время ожидания	0,429	3,219	3,914	0,062	7,624
Число заявок	499861	249749	150111	399860	1299581

Характеристики СеМО	РСеМО-гиперэкспонента				
	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4	
Загрузка	0,243	0,291	0,226	0,243	1,003
Длина очереди	0,067	0,167	0,106	0,021	0,361
Время ожидания	1,382	6,887	7,236	0,551	16,056
Число заявок	499861	249749	150111	399860	1299581





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

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 (там где это возможно) схожи с результатами моделирования СеМО - при уменьшении коэффициента вариации в РСеМО производительность увеличивается.

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

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

Критическое число заявок равно 9.