

Университет ИТМО  
Факультет программной инженерии и компьютерной техники

**Учебно-исследовательская работа №3 (УИР 3)**

**«Исследование СМО произвольного вида»**  
По дисциплине «Моделирование»

Выполнил:  
Студент группы Р3331  
Нодири Хисравхон

Преподаватель:  
Авксентьева Елена Юрьевна

г. Санкт-Петербург  
2024 г.

# Содержание

1	Исходные данные	4
2	1. Описание системы	4
3	2. Предположения и допущения	5
4	Классификация каждого прибора:	5
5	Таблица 1. Сравнение результатов имитационного моделирования с аналитическим выводом	5
6	Таблица 2. Варианты организации системы	6
7	Таблица 3. Описание изменений в каждом варианте	7
8	Имитационное моделирование 1.	8
9	Имитационное моделирование 2.	8
10	Имитационное моделирование 3.	9
11	Имитационное моделирование 4.	9
12	Имитационное моделирование 5.	10
13	Имитационное моделирование 6.	10
14	Имитационное моделирование 7.	11
15	Имитационное моделирование 8.	11
16	Сравнительный анализ, представленный в виде гистограмм и графиков	12
17	Вывод	15

## 1. Цель работы

Исследование свойств простейших одно- и многоканальных СМО типа G/G/K/E с однородным потоком заявок с использованием системы имитационного моделирования GPSS при различных предположениях о параметрах структурно-функциональной организации и нагрузки в соответствии с заданной программой исследований.

## 2. Содержание задания

В качестве исходной модели следует воспользоваться моделью системы, выбранной в качестве наилучшей в УИР 2, или *(в исключительных случаях по согласованию с преподавателем)* – простейшей базовой моделью одноканальной СМО, задав в качестве параметров входящего потока заявок (среднее значение и коэффициент вариации интервалов между поступающими в систему заявками) значения, полученные в процессе обработки случайной последовательности в УИР1. Для этого необходимо скорректировать предлагаемую имитационную GPSS-модель СМО типа G/G/K/E (файл **smo GGKE.gps**).

В процессе исследований необходимо оценить влияние на такие характеристики системы, как:

- *длительность переходного процесса* в системе;
- *среднее время ожидания (пребывания)* заявок в системе;
- *вероятность потери заявок*

следующих параметров нагрузки и структуры:

- загрузки системы (в интервале от 0,1 до 0,9);
- характера потока поступающих в систему заявок (*заданная трасса; аппроксимирующий поток; простейший поток*);
- законов распределения длительности обслуживания;
- количества приборов в системе (от 1 до 3);
- ёмкости накопителя.

Результаты исследований рекомендуется представлять в форме таблиц, *примерная* форма которых приведена ниже, и графиков, отражающих зависимости указанных характеристик от варьируемых параметров.

Указание: *длительность переходного процесса измеряется в количестве заявок, прошедших через систему от момента начала работы до момента вхождения в установившийся (стационарный) режим функционирования.*

# 1 Исходные данные

## Параметры системы:

1. Интенсивность потока:  $\lambda = 0.2c^{-1}$
2. Средняя длительность обслуживания:  $b = 25c$
3. Интенсивность обслуживания:  $\mu = 0.04c^{-1}$
4. Вероятность занятия прибора:  $p_1 = 0.1, p_2 = 0.4, p_3 = 0.5$

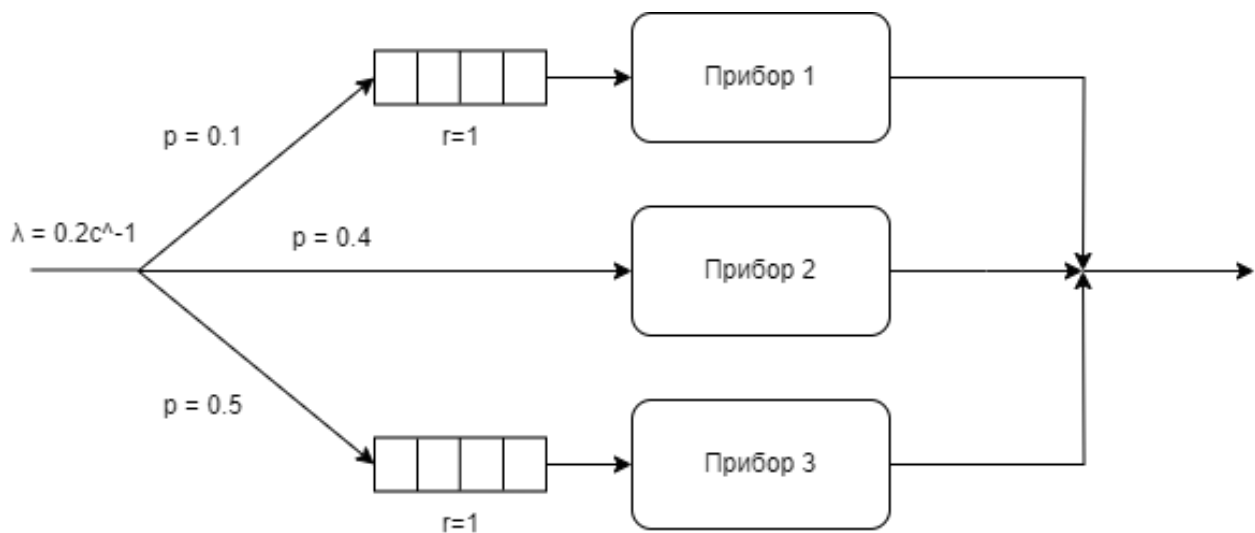


Рис. 1: Многоканальная система массового обслуживания

## 2 1. Описание системы

- 1.1. Система содержит 3 прибора, то есть является многоканальной.
- 1.2. В систему поступает однородный поток заявок, вероятности занятия каждого прибора разные.
- 1.3. Длительность обслуживания заявок в каждом приборе одинаковая.
- 1.4. В системе перед вторым прибором нет накопителя, перед 1 и 3 прибором имеется накопитель единичной ёмкости  $r = 1$ .

## 3 2. Предположения и допущения

2.1. Поступающие в систему заявки образуют простейший поток с интенсивностью  $\lambda$ .

2.2. Длительность обслуживания заявок в приборе распределена по экспоненциальному закону с интенсивностью  $1/b = \mu$ , где  $b$  – средняя длительность обслуживания заявок в приборе.

2.3. Дисциплина буферизации – с потерями: заявка, поступившая в систему и заставшая накопитель заполненным, теряется.

2.4. Дисциплина обслуживания – в естественном порядке: заявка, поступившая в систему и заставшая прибор свободным, принимается на обслуживание.

## 4 Классификация каждого прибора:

- Прибор 1: M/M/1/1
- Прибор 2: M/M/1/0
- Прибор 3: M/M/1/1

## 5 Таблица 1. Сравнение результатов имитационного моделирования с аналитическим выводом

Исходные данные	Количество данных	Средний интервал между поступающими заявками	Длительность обслуживания
	1000000	5	25
Характеристики	Аналитический метод	Результат моделирования	Погрешность, %
Загрузка	0,679	0,664	2,21%
Длина очереди	0,804	0,783	2,61%
Вероятность потери	0,613	0,601	1,92%
Число заявок	2,74	2,783	-1,57%
Время пребывания	35,393	34,788	1,71%
Время ожидания	10,393	9,788	5,82%
Производительность	0,077	0,08	-3,36%

Рассмотрим несколько вариантов изменения характеристик, а затем проанализируем полученные закономерности.

## 6 Таблица 2. Варианты организации системы

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
Количество приборов	1	1	1	1	1	1	1	1
Ёмкость накопителя	2	2	2	10	10	10	10	2
Интервалы между заявками входящего потока								
Среднее значение	25	25	25	25	25	25	25	25
Вид потока	Т	А	А	А	А	А	А	П
Длительность обслуживания заявок								
Среднее значение	10	10	5	10	10	2,5	20	10
Коэффициент вариации	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995

7 Таблица 3. Описание изменений в каждом варианте

Вариант	Изменение
1	Трасса
2	Распределение Эрланга второго порядка интервала времени между входящими заявками
3	Распределение Эрланга второго порядка, а также уменьшено вдвое среднее время обслуживания заявок
4	Распределение Эрланга второго порядка, увеличена емкость накопителя
5	Распределение Эрланга второго порядка, установлена загрузка прибора 0.4
6	Распределение Эрланга второго порядка, установлена загрузка прибора 0.1
7	Распределение Эрланга второго порядка, установлена загрузка прибора 0.8
8	Простейшее распределение интервала времени между входящими заявками по сравнению с обычной трассой

## 8 Имитационное моделирование 1.

Исх, Данные (вариант 6)		К	Е	поток	а	б	КВ			
		1	2	трасса	25	10	1			
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П (%)	Длина очер,	Загрузка	Ср,вр, ож,	О (%)	СКО вр, ож,	Дов, инт,	Д (%)
10	1	10,00%	-	0,190	0,423	4,004	-	4,768	±3,884	97,01%
20	1	5,00%	50,00%	0,190	0,465	3,577	10,67%	5,016	±2,889	80,78%
50	7	14,00%	180,00%	0,241	0,327	7,050	97,11%	17,210	±6,270	88,94%
100	18	18,00%	28,57%	0,196	0,346	6,067	13,94%	9,440	±2,432	40,09%
200	34	17,00%	5,56%	0,247	0,339	7,433	22,52%	12,058	±2,196	29,55%
500	87	17,40%	2,35%	0,197	0,317	6,194	16,67%	9,876	±1,138	18,37%
1000	191	19,10%	9,77%	0,245	0,349	7,740	24,96%	11,826	±0,963	12,44%
2000	373	18,65%	2,36%	0,237	0,343	7,477	3,40%	11,295	±0,651	8,71%
5000	929	18,58%	0,38%	0,238	0,341	7,486	0,12%	11,575	±0,422	5,64%
10000	1937	19,37%	4,25%	0,234	0,342	7,456	0,40%	11,616	±0,299	4,01%
20000	3628	18,14%	6,35%	0,237	0,343	7,509	0,71%	11,598	±0,211	2,81%
50000	9346	18,69%	3,04%	0,239	0,344	7,572	0,84%	11,772	±0,136	1,80%
100000	19066	19,07%	2,00%	0,240	0,344	7,607	0,46%	11,822	±0,096	1,26%
150000	28760	19,17%	0,56%	0,239	0,344	7,582	0,33%	11,856	±0,079	1,04%
200000	38113	19,06%	0,61%	0,238	0,343	7,529	0,70%	11,726	±0,068	0,90%
300000	57129	19,04%	0,07%	0,238	0,344	7,539	0,13%	11,746	±0,055	0,73%
350000	66664	19,05%	0,02%	0,238	0,344	7,541	0,03%	11,766	±0,051	0,68%
400000	76304	19,08%	0,15%	0,239	0,344	7,566	0,33%	11,805	±0,048	0,63%
500000	94892	18,98%	0,51%	0,237	0,343	7,508	0,77%	11,692	±0,043	0,57%
1000000	191159	19,12%	0,72%	0,238	0,343	7,544	0,48%	11,778	±0,030	0,40%

## 9 Имитационное моделирование 2.

Исх, Данные (вариант 6)		К	Е	поток	а	б	КВ			
		1	2	А	25	10	1			
Заявок	Потери	потери	П (%)	очер,	Загрузка	Ср,вр, ож,	О (%)	вр, ож,	Дов, инт,	Д (%)
10	1	10,00%	-	0,199	0,351	5,058	-	5,485	±4,468	88,34%
20	2	10,00%	0,00%	0,130	0,326	3,682	27,21%	3,540	±2,039	55,38%
50	9	18,00%	80,00%	0,326	0,411	7,487	103,35%	15,179	±5,530	73,87%
100	15	15,00%	16,67%	0,167	0,342	5,369	28,29%	8,822	±2,273	42,34%
200	29	14,50%	3,33%	0,208	0,353	6,769	26,08%	13,141	±2,394	35,37%
500	41	8,20%	43,45%	0,179	0,363	5,120	24,36%	9,850	±1,135	22,17%
1000	142	14,20%	73,17%	0,225	0,369	6,640	29,69%	11,249	±0,916	13,80%
2000	170	8,50%	40,14%	0,194	0,361	5,934	10,63%	10,705	±0,617	10,40%
5000	523	10,46%	23,06%	0,219	0,383	6,223	4,87%	10,809	±0,394	6,33%
10000	976	9,76%	6,69%	0,222	0,381	6,355	2,12%	10,949	±0,282	4,44%
20000	1860	9,30%	4,71%	0,223	0,384	6,351	0,06%	10,728	±0,195	3,07%
50000	4806	9,61%	3,35%	0,227	0,383	6,483	2,08%	10,887	±0,125	1,93%
100000	10002	10,00%	4,06%	0,224	0,383	6,435	0,74%	11,058	±0,090	1,40%
150000	15118	10,08%	0,77%	0,228	0,384	6,497	0,96%	11,064	±0,074	1,14%
200000	20093	10,05%	0,32%	0,228	0,384	6,532	0,54%	11,147	±0,064	0,98%
300000	30156	10,05%	0,05%	0,226	0,382	6,500	0,49%	11,081	±0,052	0,80%
350000	34486	9,85%	1,98%	0,226	0,383	6,482	0,28%	11,095	±0,048	0,74%
400000	39967	9,99%	1,41%	0,227	0,384	6,474	0,12%	11,041	±0,045	0,70%
500000	49808	9,96%	0,30%	0,227	0,384	6,469	0,08%	11,055	±0,040	0,62%
1000000	100693	10,07%	1,08%	0,229	0,386	6,495	0,40%	11,041	±0,028	0,43%



## 10 Имитационное моделирование 3.

Исх, Данные (вариант 6)		К	Е	поток	а	б	КВ			
		1	2	А	25	5,00	1			
Заявок	Потери	потери	П (%)	очер.	Загрузка	Ср.вр. ож.	О (%)	вр. ож.	Дов. инт.	Д (%)
10	0	0,00%	-	0,028	0,185	1,114	-	1,736	±1,414	126,98%
20	1	5,00%	-	0,003	0,160	0,795	28,65%	1,209	±0,696	87,60%
50	0	0,00%	100,00%	0,002	0,177	0,699	12,08%	2,806	±1,022	146,31%
100	2	2,00%	-	0,039	0,230	1,210	73,15%	2,790	±0,719	59,44%
200	11	5,50%	175,00%	0,044	0,178	1,949	61,10%	5,725	±1,043	53,53%
500	3	0,60%	89,09%	0,029	0,186	1,358	30,33%	3,797	±0,437	32,19%
1000	17	1,70%	183,33%	0,043	0,207	1,612	18,71%	3,926	±0,320	19,86%
2000	35	1,75%	2,94%	0,032	0,191	1,501	6,89%	4,021	±0,232	15,46%
5000	106	2,12%	21,14%	0,041	0,203	1,614	7,53%	4,099	±0,149	9,23%
10000	221	2,21%	4,25%	0,039	0,200	1,590	1,49%	4,001	±0,103	6,48%
20000	403	2,02%	8,82%	0,039	0,204	1,577	0,82%	4,029	±0,073	4,63%
50000	1066	2,13%	5,81%	0,041	0,203	1,637	3,81%	4,152	±0,048	2,93%
100000	2156	2,16%	1,13%	0,042	0,204	1,633	0,24%	4,181	±0,034	2,08%
150000	3198	2,13%	1,11%	0,041	0,203	1,653	1,23%	4,171	±0,028	1,69%
200000	4199	2,10%	1,52%	0,040	0,203	1,619	2,06%	4,153	±0,024	1,48%
300000	6249	2,08%	0,79%	0,041	0,203	1,631	0,74%	4,171	±0,020	1,23%
350000	7150	2,04%	1,93%	0,040	0,202	1,607	1,47%	4,114	±0,018	1,12%
400000	8320	2,08%	1,82%	0,041	0,203	1,624	1,06%	4,154	±0,017	1,05%
500000	10247	2,05%	1,47%	0,041	0,203	1,621	0,18%	4,140	±0,015	0,93%
1000000	20932	2,09%	2,14%	0,042	0,205	1,632	0,68%	4,157	±0,011	0,67%

## 11 Имитационное моделирование 4.

Исх, Данные (вариант 6)		К	Е	поток	а	б	КВ			
		1	2	А	25	10	1			
Заявок	Потери	потери	П (%)	очер.	Загрузка	Ср.вр. ож.	О (%)	вр. ож.	Дов. инт.	Д (%)
10	0	0,00%	-	0,151	0,339	4,164	-	5,617	±4,576	109,91%
20	0	0,00%	-	0,138	0,334	3,699	11,17%	5,603	±3,227	87,25%
50	0	0,00%	-	0,603	0,533	7,324	98,01%	15,675	±5,710	77,97%
100	0	0,00%	-	0,159	0,339	4,620	36,92%	8,900	±2,293	49,64%
200	0	0,00%	-	0,625	0,402	15,940	245,05%	23,983	±4,369	27,41%
500	0	0,00%	-	0,354	0,400	8,622	45,91%	13,413	±1,545	17,92%
1000	3	0,30%	-	0,626	0,418	15,002	74,00%	20,939	±1,706	11,37%
2000	9	0,45%	50,00%	0,437	0,400	11,147	25,70%	17,959	±1,034	9,28%
5000	15	0,30%	33,33%	0,495	0,428	11,786	5,73%	18,341	±0,668	5,67%
10000	23	0,23%	23,33%	0,522	0,424	12,589	6,81%	18,750	±0,483	3,84%
20000	98	0,49%	113,04%	0,539	0,427	12,883	2,34%	19,474	±0,355	2,76%
50000	173	0,35%	29,39%	0,535	0,425	12,871	0,09%	19,918	±0,229	1,78%
100000	414	0,41%	19,65%	0,543	0,426	13,066	1,52%	20,087	±0,164	1,26%
150000	564	0,38%	9,18%	0,550	0,428	13,148	0,63%	19,962	±0,133	1,01%
200000	678	0,34%	9,84%	0,542	0,426	13,034	0,87%	19,927	±0,115	0,88%
300000	987	0,33%	2,95%	0,541	0,425	13,038	0,03%	20,027	±0,094	0,72%
350000	1192	0,34%	3,52%	0,536	0,424	12,919	0,91%	19,799	±0,086	0,67%
400000	1453	0,36%	6,66%	0,542	0,427	12,995	0,59%	19,889	±0,081	0,62%
500000	1752	0,35%	3,54%	0,547	0,429	13,047	0,40%	19,923	±0,073	0,56%
1000000	3579	0,36%	2,14%	0,546	0,427	13,109	0,48%	20,016	±0,052	0,40%

## 12 Имитационное моделирование 5.

Исх, Данные (вариант 6)		К	Е	поток	а	б	КВ			
		1	2	А	25,00	2,5	1			
Заявок	Потери	потери	П (%)	очер,	Загрузка	Ср.вр. ож,	О (%)	вр. ож,	Дов. инт,	Д (%)
10	0	0,00%	-	0,046	0,069	0,036	-	0,565	±0,460	1294,68%
20	0	0,00%	-	0,054	0,101	0,160	349,00%	0,966	±0,556	348,52%
50	0	0,00%	-	0,050	0,104	0,056	65,19%	0,627	±0,228	410,59%
100	0	0,00%	-	0,054	0,080	0,209	275,53%	1,202	±0,310	148,66%
200	0	0,00%	-	0,043	0,082	-0,050	124,20%	0,456	±0,083	-164,45%
500	0	0,00%	-	0,051	0,075	0,148	392,31%	1,014	±0,117	79,31%
1000	3	0,30%	-	0,052	0,089	0,156	5,42%	1,044	±0,085	54,65%
2000	10	0,50%	66,67%	0,054	0,083	0,223	43,08%	1,334	±0,077	34,60%
5000	13	0,26%	48,00%	0,052	0,087	0,162	27,41%	1,133	±0,041	25,38%
10000	34	0,34%	30,77%	0,053	0,088	0,193	19,19%	1,253	±0,032	16,62%
20000	54	0,27%	20,59%	0,053	0,087	0,172	10,91%	1,147	±0,021	12,24%
50000	163	0,33%	20,74%	0,053	0,087	0,192	11,66%	1,189	±0,014	7,31%
100000	299	0,30%	8,28%	0,053	0,088	0,191	0,52%	1,205	±0,010	5,25%
150000	389	0,26%	13,27%	0,053	0,088	0,187	2,10%	1,189	±0,008	4,29%
200000	540	0,27%	4,11%	0,053	0,088	0,191	2,14%	1,205	±0,007	3,67%
300000	794	0,26%	1,98%	0,053	0,087	0,186	2,62%	1,190	±0,006	3,23%
350000	989	0,28%	6,77%	0,053	0,087	0,184	1,08%	1,183	±0,005	2,72%
400000	1114	0,28%	1,44%	0,053	0,088	0,184	0,00%	1,184	±0,005	2,72%
500000	1426	0,29%	2,41%	0,053	0,088	0,188	2,18%	1,198	±0,004	2,13%
1000000	2736	0,27%	4,07%	0,053	0,088	0,188	0,00%	1,197	±0,003	1,60%

## 13 Имитационное моделирование 6.

Исх, Данные (вариант 6)		К	Е	поток	а	б	КВ			
		1	2	А	25	10	1			
Заявок	Потери	потери	П (%)	очер,	Загрузка	Ср.вр. ож,	О (%)	вр. ож,	Дов. инт,	Д (%)
10	0	0,00%	-	0,082	0,301	2,899	-	4,529	±3,689	127,27%
20	0	0,00%	-	0,530	0,379	9,090	213,59%	19,128	±11,018	121,22%
50	0	0,00%	-	0,444	0,507	8,596	5,43%	9,756	±3,554	41,35%
100	0	0,00%	-	0,360	0,387	8,940	4,00%	13,256	±3,415	38,20%
200	0	0,00%	-	0,235	0,356	6,444	27,92%	12,906	±2,351	36,49%
500	0	0,00%	-	0,334	0,338	9,715	50,76%	20,173	±2,324	23,92%
1000	3	0,30%	-	0,371	0,392	9,564	1,55%	16,030	±1,306	13,66%
2000	3	0,15%	50,00%	0,332	0,368	9,402	1,69%	15,700	±0,904	9,62%
5000	2	0,04%	73,33%	0,336	0,376	9,310	0,98%	16,858	±0,614	6,60%
10000	8	0,08%	100,00%	0,368	0,393	9,822	5,50%	17,008	±0,438	4,46%
20000	32	0,16%	100,00%	0,356	0,386	9,652	1,73%	16,958	±0,309	3,20%
50000	67	0,13%	16,25%	0,356	0,386	9,690	0,39%	16,987	±0,196	2,02%
100000	133	0,13%	0,75%	0,364	0,388	9,864	1,80%	16,953	±0,138	1,40%
150000	180	0,12%	9,77%	0,367	0,389	9,887	0,23%	16,970	±0,113	1,14%
200000	210	0,11%	12,50%	0,356	0,387	9,666	2,24%	16,616	±0,096	0,99%
300000	342	0,11%	8,57%	0,363	0,386	9,867	2,08%	16,976	±0,080	0,81%
350000	351	0,10%	12,03%	0,356	0,385	9,683	1,86%	16,762	±0,073	0,75%
400000	446	0,11%	11,18%	0,363	0,388	9,804	1,25%	16,797	±0,068	0,69%
500000	522	0,10%	6,37%	0,362	0,387	9,784	0,20%	16,848	±0,061	0,62%
1000000	1120	0,11%	7,28%	0,360	0,387	9,756	0,29%	16,738	±0,043	0,44%

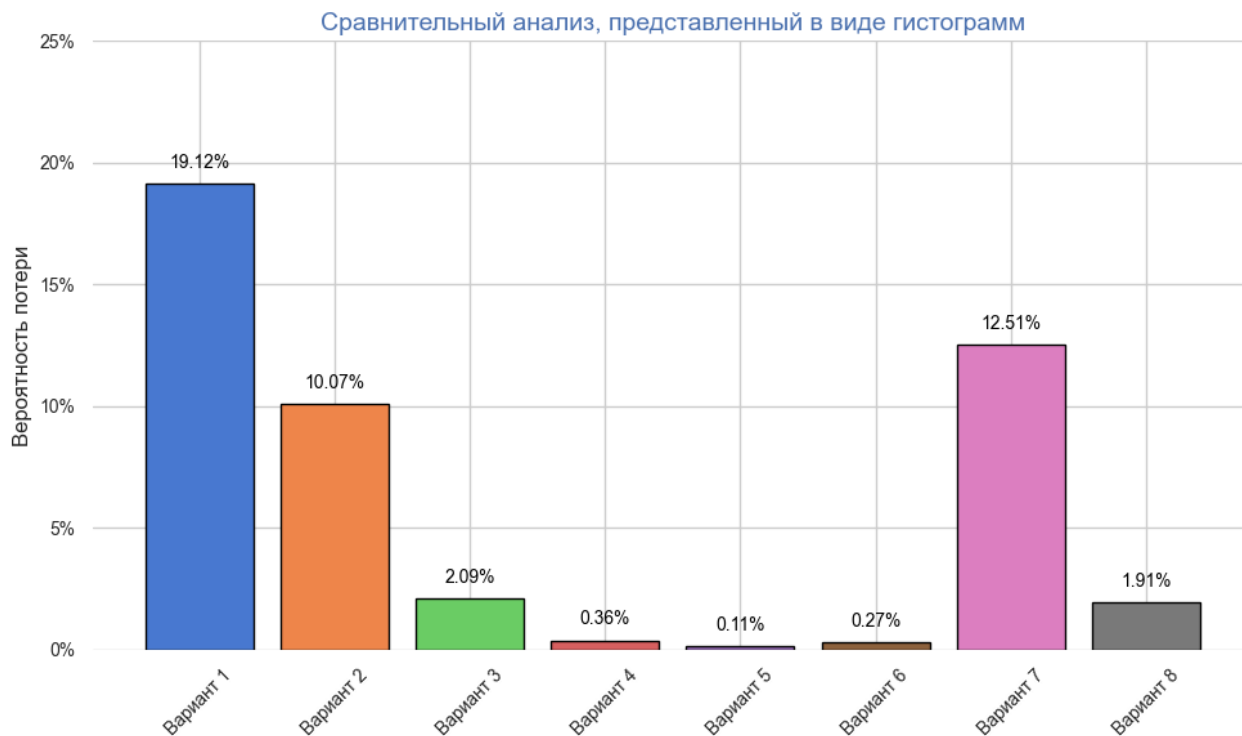
## 14 Имитационное моделирование 7.

Исх, Данные (вариант 6)		К	Е	поток	а	б	КВ			
		1	2	А	25	20,00	1			
Заявок	Потери	потери	П (%)	очер,	Загрузка	Ср,вр, ож,	О (%)	вр, ож,	Дов, инт,	Д (%)
10	0	0,00%	-	1,511	0,547	54,203	-	33,454	±27,252	50,28%
20	0	0,00%	-	2,348	0,832	61,419	13,31%	57,176	±32,934	53,62%
50	9	18,00%	-	3,895	0,880	73,764	20,10%	43,512	±15,852	21,49%
100	2	2,00%	88,89%	1,606	0,621	47,140	36,09%	37,616	±9,690	20,56%
200	36	18,00%	800,00%	3,603	0,849	83,933	78,05%	80,668	±14,694	17,51%
500	41	8,20%	54,44%	2,370	0,696	62,863	25,10%	62,617	±7,214	11,48%
1000	125	12,50%	52,44%	2,862	0,711	83,003	32,04%	71,306	±5,809	7,00%
2000	235	11,75%	6,00%	3,134	0,785	81,349	1,99%	67,291	±3,876	4,76%
5000	582	11,64%	0,94%	3,223	0,802	82,535	1,46%	67,295	±2,452	2,97%
10000	1169	11,69%	0,43%	3,045	0,775	79,827	3,28%	67,123	±1,729	2,17%
20000	3549	17,75%	51,80%	3,068	0,780	79,566	0,33%	66,615	±1,213	1,52%
50000	6292	12,58%	29,08%	3,110	0,786	81,532	2,47%	67,805	±0,781	0,96%
100000	12084	12,08%	3,97%	2,998	0,775	79,178	2,89%	67,950	±0,554	0,70%
150000	18428	12,29%	1,67%	3,051	0,782	79,782	0,76%	67,595	±0,450	0,56%
200000	25522	12,76%	3,87%	3,148	0,788	81,761	2,48%	67,599	±0,389	0,48%
300000	37129	12,38%	3,01%	3,043	0,780	79,792	2,41%	67,940	±0,320	0,40%
350000	43133	12,32%	0,43%	3,067	0,784	80,030	0,30%	67,749	±0,295	0,37%
400000	49268	12,32%	0,05%	3,073	0,785	80,264	0,29%	67,536	±0,275	0,34%
500000	62565	12,51%	1,59%	3,098	0,787	80,914	0,81%	67,946	±0,248	0,31%
1000000	125125	12,51%	0,00%	3,068	0,784	80,408	0,63%	67,794	±0,175	0,22%

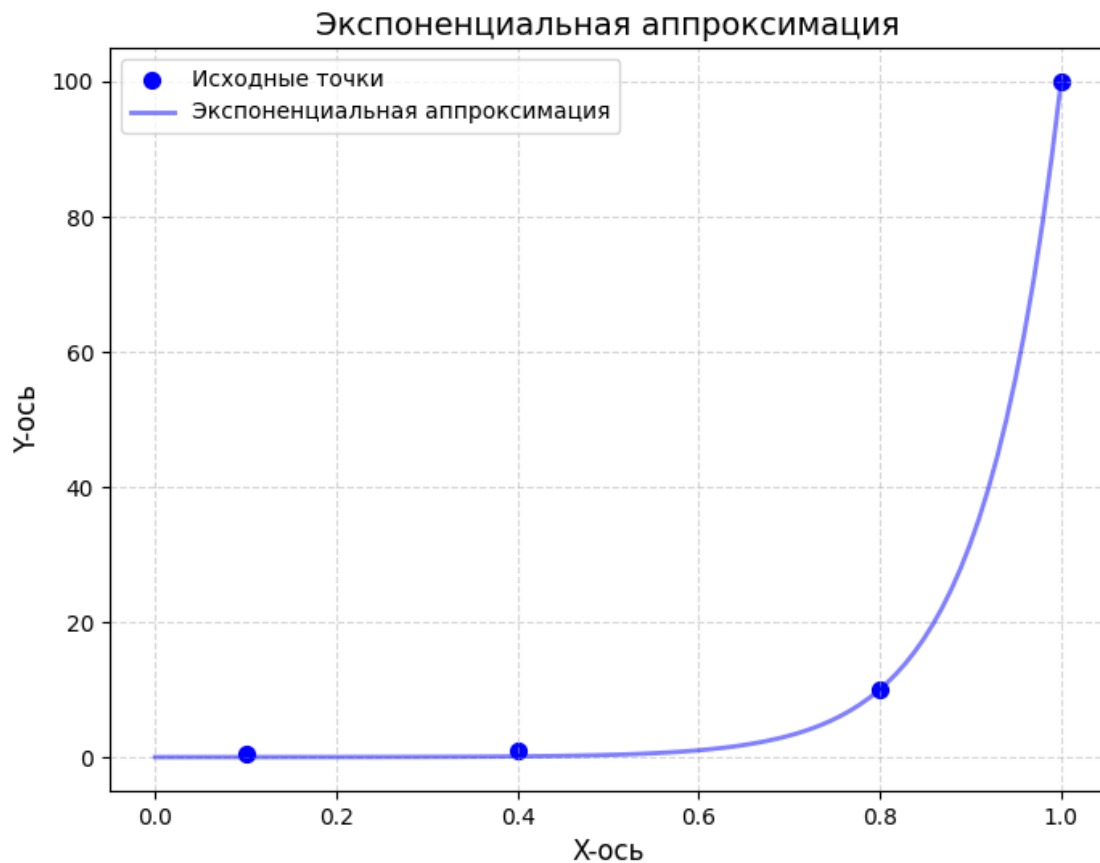
## 15 Имитационное моделирование 8.

Исх, Данные (вариант 6)		К	Е	поток	а	б	КВ			
		1	2	Е-2	25	10	1			
Заявок	Потери	потери	П (%)	очер,	Загрузка	Ср,вр, ож,	О (%)	вр, ож,	Дов, инт,	Д (%)
10	0	0,00%	-	0,288	0,890	6,929	-	11,303	±9,208	132,90%
20	0	0,00%	-	0,011	0,391	1,031	85,13%	2,978	±1,715	166,42%
50	0	0,00%	-	0,037	0,313	1,883	82,68%	6,326	±2,305	122,44%
100	2	2,00%	-	0,099	0,424	2,821	49,83%	6,452	±1,662	58,93%
200	2	1,00%	50,00%	0,085	0,371	2,736	3,01%	7,449	±1,357	49,61%
500	8	1,60%	60,00%	0,142	0,453	3,885	42,00%	9,070	±1,045	26,90%
1000	9	0,90%	43,75%	0,082	0,407	2,550	34,37%	6,503	±0,530	20,79%
2000	37	1,85%	105,56%	0,119	0,419	3,380	32,56%	8,356	±0,481	14,23%
5000	102	2,04%	10,27%	0,121	0,422	3,450	2,07%	8,329	±0,303	8,78%
10000	199	1,99%	2,45%	0,127	0,424	3,613	4,73%	8,834	±0,228	6,31%
20000	294	1,47%	26,13%	0,120	0,421	3,442	4,73%	8,544	±0,156	4,53%
50000	890	1,78%	21,09%	0,122	0,419	3,510	1,98%	8,533	±0,098	2,79%
100000	1782	1,78%	0,11%	0,119	0,420	3,411	2,82%	8,346	±0,068	1,99%
150000	2824	1,88%	5,65%	0,120	0,421	3,459	1,41%	8,481	±0,056	1,62%
200000	3604	1,80%	4,28%	0,118	0,417	3,405	1,56%	8,410	±0,048	1,41%
300000	5563	1,85%	2,90%	0,119	0,419	3,419	0,41%	8,375	±0,039	1,14%
350000	6623	1,89%	2,05%	0,120	0,420	3,457	1,11%	8,423	±0,037	1,07%
400000	7391	1,85%	2,35%	0,119	0,420	3,417	1,16%	8,357	±0,034	1,00%
500000	9517	1,90%	3,01%	0,120	0,421	3,460	1,26%	8,470	±0,031	0,90%
1000000	19107	1,91%	0,38%	0,120	0,420	3,450	0,29%	8,444	±0,022	0,64%

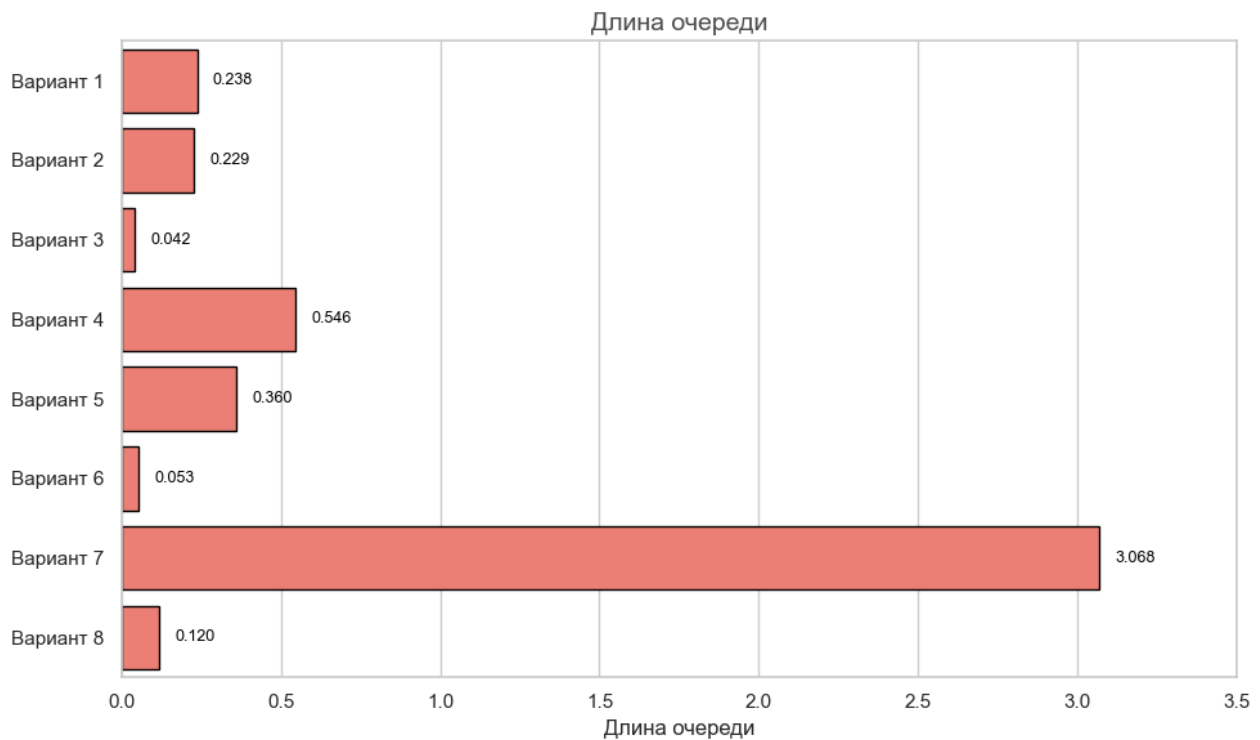
## 16 Сравнительный анализ, представленный в виде гистограмм и графиков



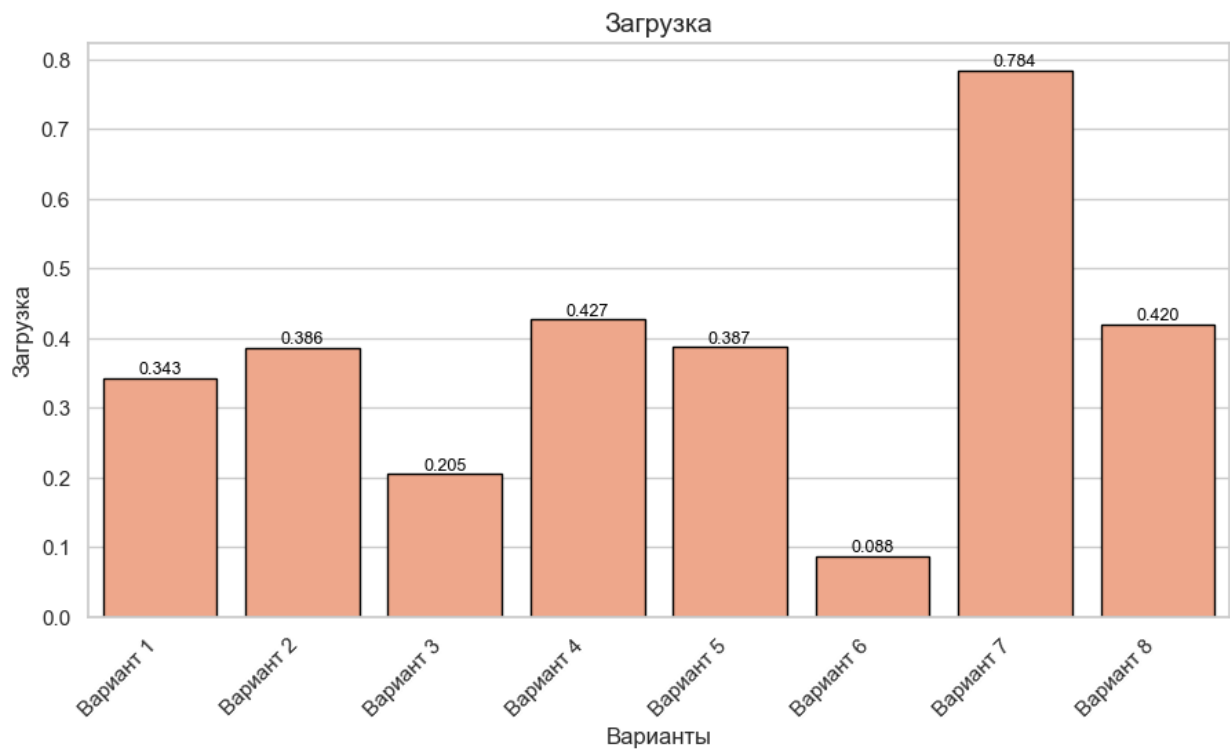
На основе данных гистограммы можно сказать, что увеличение ёмкости накопителя привело к снижению вероятности потерь в 28 раз. Также видно, что при высокой загрузке системы вероятность потерь сильно растёт. Это позволяет построить график, показывающий, как вероятность потерь зависит от уровня загрузки системы.



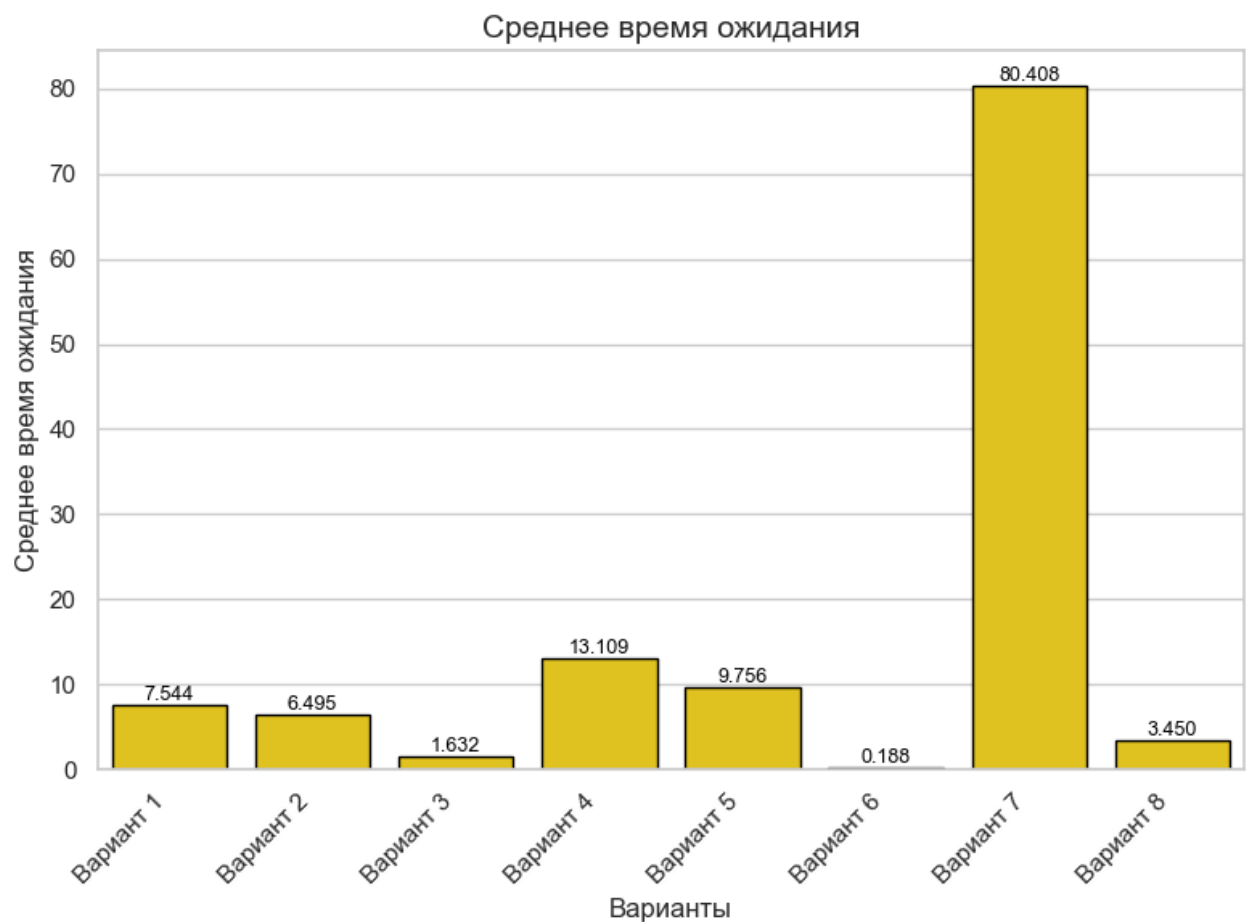
При увеличении загрузки -> количество потерь растет экспоненциально.



При увеличении емкости и нагрузки -> увеличивается и длина очереди.

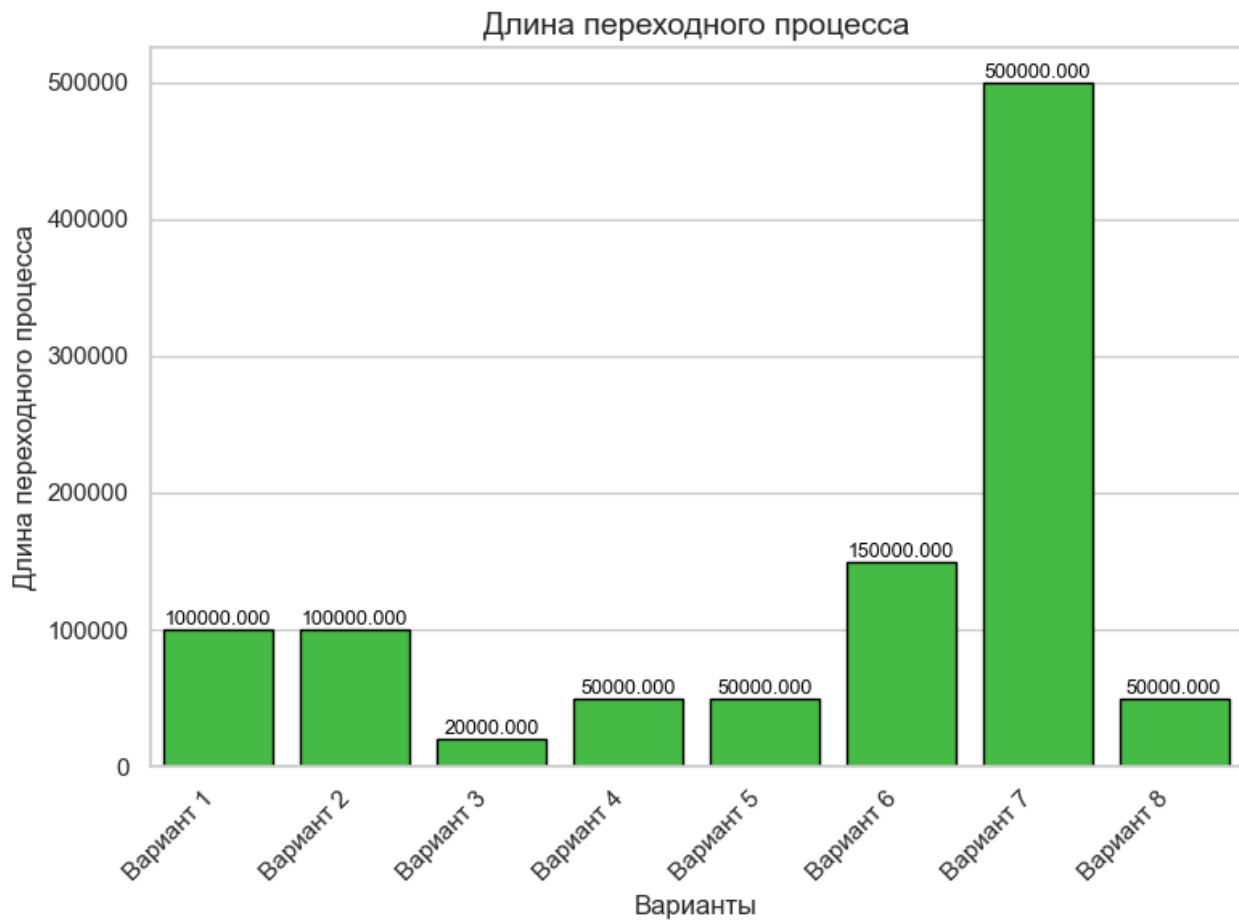


При уменьшении среднего времени длительности обслуживания  $\rightarrow$  уменьшается значение загрузки. Зависимость прямо пропорциональная.



При увеличении средней длительности обслуживания заявок  $\rightarrow$  увеличивается и сред-

нее время ожидания.



Как мы видим, длительности переходных процессов для всех вариантов становятся стационарными при достаточно больших значениях транзактов.

## 17 Вывод

Мы исследовали характеристики простейших многоканальных систем массового обслуживания (СМО) типа G/G/K/E с однородным потоком заявок. Для этого использовалась система имитационного моделирования GPSS World при разных условиях, связанных с параметрами структуры, функций и нагрузки.

На основе исследования можно сделать такие выводы:

1. Загрузка системы сильно влияет на длительность переходного процесса.
2. Вероятность потерь и среднее время ожидания зависят от характера входящего потока.
3. Увеличение ёмкости накопителя снижает вероятность потерь, но только до определённого предела.
4. Законы распределения обслуживания значительно влияют на работу системы при высокой загрузке.