

# Университет ИТМО

## **Лабораторная работа №3 «Исследование СМО произвольного вида»**

*по дисциплине: Моделирование*

Выполнили: Соболев Иван, Верещагин Егор, Р34312

Преподаватель: Тропченко Андрей Александрович

Санкт-Петербург

2024

## Содержание

1.	Цель.....	3
2.	Выполнение.....	3
2.1.	Характеристики системы.....	3
2.2.	Сравнение характеристик системы из УИР 2 и её моделирования.....	3
2.3.	Планирование эксперимента.....	4
2.4.	Результаты имитационных экспериментов.....	5
3.	Анализ полученных результатов и выводы.....	8
3.1.	Вероятность потери.....	8
3.2.	Длина очереди.....	9
3.3.	Загрузка.....	9
3.4.	Среднее время ожидания.....	10
3.5.	Длина переходного процесса.....	11
4.	Вывод.....	11

## 1. Цель

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. Выполнение

### 2.1. Характеристики системы

- Согласно заданию в качестве модели системы будет использована Система 1 из УИР 2, поскольку по результатам исследования её характеристик она была признана лучшей. Система представляет собой 3 обслуживающих прибора. Емкость накопителя перед первым прибором - 0, перед вторым – 1, перед третьим – 1.

Система обладает следующими характеристиками:

- Интенсивность обслуживания прибора:  $\mu = 1/10 = 0,1 \text{ с}^{-1}$
- Интенсивность входного потока  $\lambda = 0,4 \text{ с}^{-1}$
- Средняя длительность обслуживания  $b = 10 \text{ с}$

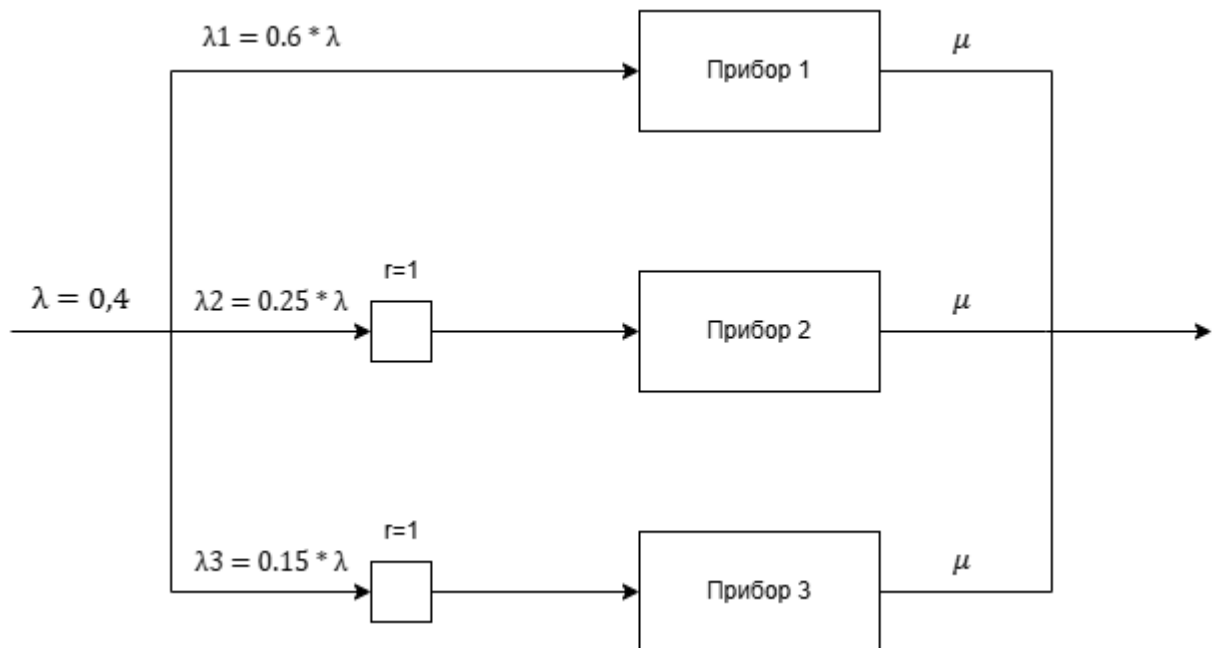


Рисунок 1. Схематичное представление Системы 1

### 2.2. Сравнение характеристик системы из УИР 2 и её моделирования

При помощи программы GPSS World составим модель СМО и выполним имитационный эксперимент при тех же нагрузочных параметрах, что и в УИР 2. Результаты представим в виде таблицы для наглядности.

Таблица 1. Сравнение характеристик Системы 1, полученных разными способами

Хар-ка	Прибор	Модель	УИР 2	Отклонение, %
Загрузка	П1	0.998	0.711	
	П2	0.739	0.667	
	П3	0.250	0.544	
	Сумм.	0.662	0.641	3.276131
Длина очереди	П1	0	0	
	П2	0.423	0.333	
	П3	0.089	0.204	
	Сумм.	0.512	0.537	-4.65549
Время ожидания	П1	0	0.000	
	П2	5.207	5.000	
	П3	3.569	4.272	
	Сумм.	2.925	2.925	0

Поскольку характеристики достаточно близки.

### 2.3. Планирование эксперимента

Таблица 2. Схема проведения исследований в рамках УИР

Номер варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество приборов		3								
Ёмкость накопителей		0/1/1								
Интервалы между заявками входящего потока	Среднее значение	206,06			206,06			206,06		
	Вид потока	Простейший			Аппроксимация			Трасса		
Длительность обслуживания заявок	Среднее значение	108	232	488	106	224	433	88	187	366
	Коэффициент вариации	1			0,66			0,58		

В результате учебно-исследовательской работы будет проведено 9 экспериментов по исследованию СМО с изменяющимся значением средней длительности обслуживания заявок.

## 2.4. Результаты имитационных экспериментов

Таблица 3. Вариант 1 исследования

Исх. Данные (вариант 1)		К 3	Е 0/1/1	поток прост	а 206.06	б 108	КВ 1										
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П (%)	Длина очер.	Загрузка	Ср.вр. ож. BUF1	О (%) BUF1	СКО вр. ож. BUF1	Дов. инт. BUF1	Д (%) BUF1	Ср.вр. ож. BUF2	О (%) BUF2	СКО вр. ож. BUF2	Дов. инт. BUF2	Д (%) BUF2		
10	0	0.00%	-	0.000	0.094	0.00	0.00%	0.000	±0.000	0.00%	0.00	0.00%	0.000	±0.000	0.00%		
20	0	0.00%	-	0.008	0.165	5.670	0.00%	0.000	±0.000	0.00%	0.000	0.00%	0.000	±0.000	0.00%		
50	7	14.00%	-	0.024	0.166	14.197	150.39%	45.351	±16.521	116.37%	2.532	0.00%	14.326	±5.219	206.12%		
100	7	7.00%	50.00%	0.023	0.168	13.808	2.74%	44.723	±11.521	83.44%	2.426	4.19%	14.030	±3.614	148.97%		
200	11	5.50%	21.43%	0.025	0.168	14.803	7.21%	47.689	±8.687	58.68%	2.157	11.09%	13.242	±2.412	111.82%		
500	15	3.00%	45.45%	0.026	0.169	15.387	3.95%	52.814	±6.084	39.54%	1.688	21.74%	11.737	±1.352	80.09%		
1000	25	2.50%	16.67%	0.028	0.172	17.051	10.81%	59.051	±4.810	28.21%	3.845	127.78%	24.681	±2.011	52.30%		
2000	42	2.10%	16.00%	0.027	0.175	16.511	3.17%	58.030	±3.343	20.25%	3.855	0.26%	23.883	±1.376	35.69%		
5000	91	1.82%	13.33%	0.027	0.175	16.587	0.46%	58.460	±2.130	12.84%	3.766	2.31%	25.912	±0.944	25.07%		
10000	194	1.94%	6.59%	0.028	0.175	16.705	0.71%	59.359	±1.529	9.15%	2.906	22.84%	21.241	±0.547	18.82%		
20000	361	1.81%	6.96%	0.027	0.174	16.497	1.25%	58.406	±1.064	6.45%	3.982	37.03%	30.233	±0.551	13.84%		
50000	832	1.66%	7.81%	0.028	0.174	16.511	0.08%	57.830	±0.666	4.03%	4.069	2.18%	30.099	±0.347	8.53%		
100000	1776	1.78%	6.73%	0.028	0.173	16.576	0.39%	57.823	±0.471	2.84%	3.512	13.69%	27.845	±0.227	6.46%		
200000	3632	1.82%	2.29%	0.028	0.173	16.544	0.19%	57.715	±0.332	2.01%	3.467	1.28%	27.577	±0.159	4.59%		
300000	6330	2.11%	16.19%	0.027	0.173	16.524	0.12%	57.860	±0.272	1.65%	3.334	3.84%	26.661	±0.125	3.75%		
500000	14442	2.89%	36.89%	0.027	0.173	16.365	0.96%	57.341	±0.209	1.28%	3.340	0.18%	26.662	±0.097	2.90%		
1000000	23523	2.35%	18.56%	0.027	0.173	16.400	0.21%	57.225	±0.147	0.90%	3.311	0.87%	26.546	±0.068	2.05%		

За длину переходного режима возьмем значение 20000. Так как в дальнейшем характеристики перестают значительно изменяться.

Таблица 4. Вариант 2 исследования

Исх. Данные (вариант 2)		К 3	Е 0/1/1	поток прост	а 206.06	б 232	КВ 1										
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П (%)	Длина очер.	Загрузка	Ср.вр. ож. BUF1	О (%) BUF1	СКО вр. ож. BUF1	Дов. инт. BUF1	Д (%) BUF1	Ср.вр. ож. BUF2	О (%) BUF2	СКО вр. ож. BUF2	Дов. инт. BUF2	Д (%) BUF2		
10	0	0.00%	-	0.000	0.190	0.00	-	0.000	±0.000	0.00%	0.00	0.00%	0.000	±0.000	0.00%		
20	0	0.00%	-	0.000	0.245	0.000	0.00%	0.000	±0.000	0.00%	0.000	0.00%	0.000	±0.000	0.00%		
50	1	2.00%	-	0.111	0.411	98.836	0.00%	147.900	±53.880	54.51%	0.000	0.00%	0.000	±0.000	0.00%		
100	1	1.00%	50.00%	0.069	0.304	50.818	48.58%	109.522	±28.213	55.52%	0.000	0.00%	0.000	±0.000	0.00%		
200	5	2.50%	150.00%	0.078	0.341	43.966	13.48%	88.607	±16.140	36.71%	30.823	0.00%	147.823	±26.926	87.36%		
500	19	3.80%	52.00%	0.095	0.340	60.037	36.55%	143.391	±16.519	27.51%	14.222	53.86%	98.320	±11.327	79.64%		
1000	51	5.10%	34.21%	0.095	0.354	58.093	3.24%	142.426	±11.602	19.97%	19.617	37.93%	111.593	±9.090	46.34%		
2000	116	5.80%	13.73%	0.099	0.362	63.720	9.69%	160.842	±9.265	14.54%	13.665	30.34%	84.884	±4.889	35.78%		
5000	265	5.30%	8.62%	0.100	0.366	65.054	2.09%	164.146	±5.980	9.19%	13.045	4.54%	73.415	±2.675	20.51%		
10000	588	5.89%	10.94%	0.101	0.367	65.161	0.16%	160.142	±4.125	6.33%	12.257	6.04%	66.874	±1.723	14.06%		
20000	1223	6.12%	4.00%	0.101	0.365	65.265	0.16%	160.281	±2.920	4.47%	13.687	11.67%	75.252	±1.371	10.02%		
50000	2934	5.87%	4.04%	0.102	0.366	65.596	0.51%	161.558	±1.861	2.84%	15.299	11.78%	83.113	±0.957	6.26%		
100000	6196	6.20%	5.54%	0.101	0.364	64.451	1.75%	160.616	±1.308	2.03%	15.517	1.42%	83.508	±0.680	4.38%		
200000	12829	6.41%	3.53%	0.100	0.363	64.427	0.04%	160.246	±0.923	1.43%	14.857	4.25%	80.780	±0.465	3.13%		
300000	22511	7.50%	16.98%	0.100	0.363	64.172	0.40%	159.780	±0.751	1.17%	14.720	0.92%	81.614	±0.384	2.61%		
500000	38883	7.78%	3.64%	0.100	0.362	64.150	0.03%	160.045	±0.583	0.91%	15.009	1.96%	82.524	±0.301	2.01%		
1000000	71712	7.17%	7.78%	0.099	0.363	64.009	0.22%	159.893	±0.412	0.64%	14.905	0.69%	81.679	±0.210	1.41%		

За длину переходного режима возьмем значение 2000. Так как в дальнейшем характеристики перестают значительно изменяться.

Таблица 5. Вариант 3 исследования

Исх. Данные (вариант 3)		К 3	Е 0/1/1	поток прост	а 206.06	б 488	КВ 1										
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П (%)	Длина очер.	Загрузка	Ср.вр. ож. BUF1	О (%) BUF1	СКО вр. ож. BUF1	Дов. инт. BUF1	Д (%) BUF1	Ср.вр. ож. BUF2	О (%) BUF2	СКО вр. ож. BUF2	Дов. инт. BUF2	Д (%) BUF2		
10	1	10.00%	-	0.103	0.376	63.01	0.00%	109.128	±88.896	141.09%	0.00	-	0.000	±0.000	0.00%		
20	3	15.00%	50.00%	0.210	0.484	165.110	0.00%	169.888	±97.857	59.27%	0.000	-	0.000	±0.000	0.00%		
50	5	10.00%	33.33%	0.215	0.556	193.252	0.00%	398.214	±145.070	75.07%	2.675	-	8.026	±2.924	109.31%		
100	10	10.00%	0.00%	0.243	0.563	205.303	6.24%	341.036	±87.851	42.79%	1.852	30.77%	6.678	±1.720	92.87%		
200	28	14.00%	40.00%	0.266	0.578	194.209	5.40%	319.332	±58.167	29.95%	23.258	1155.83%	120.698	±21.985	94.53%		
500	70	14.00%	0.00%	0.262	0.572	189.869	2.23%	339.284	±39.086	20.59%	60.233	158.98%	205.538	±23.678	39.31%		
1000	171	17.10%	22.14%	0.268	0.581	189.110	0.40%	358.785	±29.227	15.46%	88.981	47.73%	280.001	±22.801	25.63%		
2000	371	18.55%	8.48%	0.273	0.581	196.255	3.78%	354.123	±20.398	10.39%	80.626	9.39%	320.661	±18.470	22.91%		
5000	910	18.20%	1.89%	0.282	0.579	213.649	8.86%	401.048	±14.610	6.84%	74.404	7.72%	299.613	±10.915	14.67%		
10000	2038	20.38%	11.98%	0.293	0.582	220.543	3.23%	411.785	±10.608	4.81%	76.214	2.43%	276.277	±7.117	9.34%		
20000	4247	21.24%	4.20%	0.288	0.580	219.380	0.53%	408.488	±7.441	3.39%	69.458	8.86%	256.089	±4.665	6.72%		
50000	9862	19.72%	7.12%	0.286	0.579	219.145	0.11%	408.365	±4.704	2.15%	65.964	5.03%	247.228	±2.848	4.32%		
100000	20919	20.92%	6.06%	0.283	0.578	218.727	0.19%	408.231	±3.325	1.52%	61.679	6.50%	237.288	±1.933	3.13%		
200000	43062	21.53%	2.93%	0.283	0.577	218.740	0.01%	409.528	±2.359	1.08%	61.465	0.35%	238.124	±1.372	2.23%		
300000	76232	25.41%	18.02%	0.282	0.577	218.152	0.27%	407.893	±1.918	0.88%	61.831	0.60%	238.505	±1.122	1.81%		
500000	131529	26.31%	3.52%	0.282	0.577	217.908	0.11%	407.750	±1.485	0.68%	61.762	0.11%	237.571	±0.865	1.40%		
1000000	242817	24.28%	7.69%	0.281	0.577	218.021	0.05%	407.550	±1.050	0.48%	60.852	1.47%	234.738	±0.605	0.99%		

За длину переходного режима возьмем значение 100000. Так как в дальнейшем характеристики перестают значительно изменяться.

Таблица 6. Вариант 4 исследования

Иск. Данные (вариант 4)		К	Е	поток	а	б	КВ								
		3	Q/1/1	аппроксимация	206.06	106	0.66								
Заявок	Потери	Вергт. потери	П (%)	Длина очер.	Загрузка	С.р.вр. буф.1	О (%) BUF1	СКО вр. буф.1	Дов. инт. BUF1	Д (%) BUF1	Ср.вр.ож. BUF2	О (%) BUF2	СКО вр. буф.2	Дов. инт. BUF2	Д (%) BUF2
10	0	0.00%	-	0.000	0.112	0.00	-	0.000	±0.000	-	0.00	-	0.000	±0.000	-
20	1	5.00%	-	0.013	0.188	7.667	0.00%	0.000	±0.000	0.00%	0.000	-	0.000	±0.000	-
50	1	2.00%	60.00%	0.022	0.198	13.201	0.00%	38.536	±14.039	106.35%	0.000	-	0.000	±0.000	-
100	2	2.00%	0.00%	0.019	0.187	10.182	22.87%	30.720	±7.913	77.72%	0.000	-	0.000	±0.000	-
200	4	2.00%	0.00%	0.024	0.209	11.399	11.95%	43.178	±7.865	69.00%	0.000	-	0.000	±0.000	-
500	14	2.80%	40.00%	0.037	0.215	17.078	49.82%	60.064	±6.920	40.52%	0.000	-	0.000	±0.000	-
1000	23	2.30%	17.86%	0.041	0.231	16.760	1.86%	62.230	±5.069	30.24%	7.272	-	42.961	±3.500	48.13%
2000	32	1.60%	30.43%	0.037	0.238	15.577	7.06%	56.717	±3.267	20.97%	5.003	31.20%	33.725	±1.943	38.84%
5000	82	1.64%	2.50%	0.039	0.240	16.606	6.61%	58.982	±2.149	12.94%	5.676	13.45%	40.996	±1.493	26.30%
10000	160	1.80%	2.44%	0.036	0.242	16.536	0.42%	58.206	±1.498	9.07%	5.526	2.64%	40.737	±1.046	18.98%
20000	363	1.82%	13.44%	0.040	0.245	16.734	1.20%	56.571	±1.067	6.38%	5.224	0.67%	36.719	±0.669	12.81%
50000	1719	1.64%	9.75%	0.039	0.240	16.571	0.97%	58.062	±0.669	4.04%	4.559	14.64%	34.345	±0.396	8.88%
100000	8137	1.74%	6.04%	0.038	0.239	16.415	0.94%	56.978	±0.464	2.83%	3.458	21.10%	28.469	±0.232	6.59%
200000	3602	1.80%	3.68%	0.038	0.239	16.414	0.01%	56.782	±0.327	1.99%	3.274	6.94%	26.668	±0.154	4.70%
300000	6413	2.14%	18.69%	0.038	0.239	16.387	0.16%	56.587	±0.266	1.62%	3.223	1.56%	26.385	±0.124	3.85%
500000	10859	2.17%	1.60%	0.038	0.239	16.424	0.23%	56.763	±0.207	1.26%	3.337	3.54%	26.723	±0.097	2.91%
1000000	19950	2.00%	8.14%	0.038	0.239	16.380	0.27%	56.625	±0.146	0.89%	3.298	1.17%	26.576	±0.068	2.06%

За длину переходного режима возьмем значение 100000. Так как в дальнейшем характеристики перестают значительно изменяться.

Таблица 7. Вариант 5 исследования

Иск. Данные (вариант 5)		К	Е	поток	а	б	КВ								
		3	0/1/1	аппроксимация	206.06	224	0.66								
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П (%)	Длина очер.	Загрузка	Ср.вр. ож. БУФ1	О (%) БУФ1	СКО вр. ож. БУФ1	Дов. инт. БУФ1	Д (%) БУФ1	Ср.вр. ож. БУФ2	О (%) БУФ2	СКО вр. ож. БУФ2	Дов. инт. БУФ2	Д (%) БУФ2
10	0	0.00%	-	0.000	0.223	0.00	-	0.000	±0.00	-	0.00	-	0.000	±0.000	-
20	2	10.00%	-	0.049	0.350	26.956	0.00%	59.187	±34.092	126.47%	0.000	-	0.000	±0.000	-
50	3	6.00%	40.00%	0.054	0.405	37.034	0.00%	92.700	±33.771	91.19%	0.000	-	0.000	±0.000	-
100	4	4.00%	33.33%	0.053	0.391	29.301	20.88%	70.522	±18.166	62.00%	0.000	-	0.000	±0.000	-
200	12	6.00%	50.00%	0.092	0.429	46.138	57.46%	108.537	±19.770	42.85%	4.034	-	19.779	±3.603	89.25%
500	28	5.60%	6.67%	0.446	0.465	50.466	9.38%	117.583	±13.546	26.84%	1.828	54.72%	13.310	±1.533	83.86%
760	76	7.60%	35.71%	0.152	0.483	72.513	13.52%	163.604	±13.327	19.38%	9.478	18.352%	18.352	±3.951	41.47%
2000	141	7.05%	7.24%	0.152	0.485	71.168	1.86%	161.485	±9.302	13.07%	14.700	55.10%	75.861	±4.370	29.73%
5000	356	7.12%	0.99%	0.153	0.491	72.018	1.19%	163.819	±5.968	8.29%	19.539	32.92%	104.850	±3.820	19.55%
10000	771	7.71%	8.29%	0.154	0.494	72.081	0.09%	165.678	±4.268	5.92%	17.412	10.89%	92.800	±2.391	13.73%
20000	1611	8.06%	4.47%	0.152	0.491	71.375	0.98%	163.211	±2.973	4.17%	16.279	6.51%	93.368	±1.701	10.45%
50000	3808	7.62%	5.45%	0.153	0.491	72.492	1.56%	166.484	±1.918	2.65%	15.335	5.80%	83.329	±0.960	6.26%
100000	8059	8.06%	5.82%	0.153	0.489	71.718	1.07%	165.104	±1.345	1.88%	16.071	4.80%	85.001	±0.692	4.31%
200000	16484	8.24%	2.27%	0.152	0.488	71.427	0.16%	164.249	±0.946	1.32%	15.978	0.98%	83.167	±0.479	3.00%
300000	29093	9.70%	17.66%	0.151	0.488	71.539	0.41%	164.530	±0.774	1.08%	15.665	1.56%	82.052	±0.386	2.46%
500000	50231	10.05%	3.59%	0.152	0.488	71.368	0.24%	164.137	±0.598	0.84%	16.033	2.35%	84.205	±0.307	1.91%
1000000	92183	9.22%	0.152	0.488	0.488	71.385	0.02%	163.941	±0.422	0.59%	16.072	0.24%	83.646	±0.215	1.34%

За длину переходного режима возьмем значение 20000. Так как в дальнейшем характеристики перестают значительно изменяться.

Таблица 8. Вариант 6 исследования

Исх. Данные (вариант 6)		К	Е	поток	а	б	КВ								
		З	О/1/1	апроксимация	206.06	443	0.66								
Заявок	Потери	Вер-те потери	П (%)	Длина очер.	Загрузка	С.р.вр. буф.1	О (%) ВУФ1	СКО вр. о.ж. ВУФ1	Дов. инт. ВУФ1	Д (%) ВУФ1	Ср.вр. о.ж. ВУФ2	О (%) ВУФ2	СКО вр. о.ж. ВУФ2	Дов. инт. ВУФ2	Д (%) ВУФ2
10	0	0.00%	-	0.164	0.395	76.64		129.467	±105.464		0.00	-	0.000	±0.000	-
20	3	15.00%	-	0.193	0.533	124.961	0.00%	157.858	±90.928	72.77%	0.00	-	0.000	±0.000	-
50	8	16.00%	6.67%	0.222	0.546	149.933	0.00%	228.452	±83.225	55.51%	25.066	-	75.199	±27.395	109.29%
100	15	15.00%	6.25%	0.221	0.566	105.640	29.54%	198.071	±51.023	48.30%	98.275	292.06%	337.252	±86.876	88.40%
200	45	22.50%	50.00%	0.288	0.588	166.576	57.68%	291.961	±53.181	31.93%	54.531	44.51%	247.202	±45.028	82.57%
500	116	23.20%	3.11%	0.328	0.604	189.681	13.87%	320.450	±36.917	19.46%	51.304	5.92%	195.944	±22.573	44.00%
2510	257	25.70%	10.78%	0.345	0.617	197.862	43.31%	326.918	±36.978	13.63%	71.492	39.35%	204.287	±18.367	25.68%
2000	580	29.00%	12.84%	0.358	0.618	209.897	6.08%	356.176	±20.516	9.77%	73.261	2.47%	235.019	±13.537	18.48%
5000	1346	26.92%	7.17%	0.362	0.622	217.408	3.58%	383.867	±13.984	6.43%	68.729	6.19%	226.570	±8.254	12.01%
10000	2942	29.42%	9.29%	0.379	0.629	224.640	3.33%	387.089	±9.971	4.44%	69.611	1.28%	227.208	±5.853	8.41%
20000	5945	29.73%	1.02%	0.380	0.626	226.011	0.61%	385.728	±7.026	3.11%	67.453	3.10%	224.769	±4.094	6.07%
50000	13695	27.39%	7.86%	0.379	0.626	224.636	0.61%	389.644	±4.489	2.00%	66.106	2.00%	226.336	±2.607	3.94%
100000	28616	28.62%	4.48%	0.375	0.625	222.173	1.10%	385.432	±3.140	1.41%	64.415	2.56%	228.505	±1.861	2.89%
200000	58727	29.36%	2.61%	0.376	0.625	221.735	0.20%	383.498	±2.209	1.00%	63.687	1.13%	229.216	±1.320	2.07%
300000	104186	34.73%	18.27%	0.376	0.625	222.557	0.37%	383.270	±1.803	0.81%	63.159	0.83%	229.054	±1.077	1.71%
500000	180175	36.04%	3.76%	0.377	0.625	223.705	0.52%	385.249	±1.403	0.63%	62.756	0.64%	227.054	±0.827	1.32%
1000000	331925	33.19%	7.89%	0.378	0.625	223.785	0.04%	384.947	±0.992	0.44%	63.644	1.42%	228.646	±0.589	0.93%

За длину переходного режима возьмем значение 20000. Так как в дальнейшем характеристики перестают значительно изменяться.

Таблица 9. Вариант 7 исследования

Исх. Данные (вариант 7)		К 3	Е 0/1/1	поток трасса	а 206.06	б 88	КВ 0.58										
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П (%)	Длина очер.	Загрузка	Ср.вр. ож. BUF1	О (%) BUF1	СКО вр. ож. BUF1	Дов. инт. BUF1	Д (%) BUF1	Ср.вр. ож. BUF2	О (%) BUF2	СКО вр. ож. BUF2	Дов. инт. BUF2	Д (%) BUF2		
10	0	0.00%	-	0.000	0.060	0.00	0.00%	0.000	±0.000	-	0.00	-	0.000	±0.000	-		
20	0	0.00%	-	0.000	0.125	0.000	0.00%	0.000	±0.000	-	0.000	-	0.000	±0.000	-		
50	0	0.00%	-	0.008	0.109	7.030	0.00%	19.606	±7.142	101.46%	0.000	-	0.000	±0.000	-		
100	0	0.00%	-	0.009	0.112	6.143	12.73%	24.351	±6.273	102.12%	0.000	-	0.000	±0.000	-		
200	0	0.00%	-	0.010	0.122	6.411	4.36%	26.138	±4.761	74.26%	0.000	-	0.000	±0.000	-		
500	0	0.00%	-	0.009	0.129	5.260	17.95%	24.108	±2.777	52.79%	0.000	-	0.000	±0.000	-		
1000	1	0.10%	-	0.013	0.137	7.809	48.46%	32.725	±2.666	34.14%	0.000	-	0.000	±0.000	-		
2000	5	0.25%	150.00%	0.013	0.142	8.059	3.20%	36.209	±2.086	25.88%	0.526	-	8.197	±0.472	89.73%		
5000	19	0.38%	52.00%	0.011	0.143	6.601	18.09%	31.522	±1.148	17.39%	1.625	208.94%	17.329	±0.631	38.83%		
10000	38	0.38%	0.00%	0.010	0.144	6.412	2.86%	30.300	±0.781	12.18%	1.360	16.31%	15.311	±0.394	28.97%		
20000	86	0.43%	13.16%	0.011	0.143	6.627	3.35%	32.684	±0.595	8.98%	1.232	9.41%	14.571	±0.265	21.51%		
50000	213	0.43%	0.93%	0.011	0.143	6.679	0.78%	34.092	±0.393	5.88%	1.293	4.95%	14.247	±0.164	12.68%		
100000	417	0.42%	2.11%	0.011	0.143	6.600	1.18%	33.522	±0.273	4.14%	1.387	7.27%	14.942	±0.122	8.80%		
200000	930	0.47%	11.51%	0.011	0.142	6.644	0.67%	33.602	±0.194	2.92%	1.375	0.87%	15.427	±0.089	6.47%		
300000	1585	0.53%	13.62%	0.011	0.142	6.616	0.42%	33.336	±0.157	2.37%	1.307	4.95%	14.980	±0.070	5.36%		
500000	2750	0.55%	4.10%	0.011	0.142	6.651	0.53%	33.520	±0.122	1.83%	1.264	3.29%	14.685	±0.053	4.19%		
1000000	5061	0.51%	7.98%	0.011	0.142	6.700	0.74%	33.705	±0.087	1.30%	1.251	1.03%	14.774	±0.038	3.04%		

За длину переходного режима возьмем значение 20000. Так как в дальнейшем характеристики перестают значительно изменяться.

Таблица 10. Вариант 8 исследования

Исх. Данные (вариант 8)		К 3	Е 0/1/1	поток трасса	а 206.06	б 187	КВ 0.58										
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П (%)	Длина очер.	Загрузка	Ср.вр. ож. BUF1	О (%) BUF1	СКО вр. ож. BUF1	Дов. инт. BUF1	Д (%) BUF1	Ср.вр. ож. BUF2	О (%) BUF2	СКО вр. ож. BUF2	Дов. инт. BUF2	Д (%) BUF2		
10	0	0.00%	-	0.000	0.123	0.00	-	0.000	±0.000	-	0.00	-	0.000	±0.000	-		
20	0	0.00%	-	0.036	0.246	25.788	0.00%	0.000	±0.000	0.00%	0.000	-	0.000	±0.000	-		
50	1	2.00%	-	0.021	0.230	19.421	0.00%	59.676	±21.740	111.94%	0.000	-	0.000	±0.000	-		
100	2	2.00%	0.00%	0.026	0.236	18.726	3.58%	55.552	±14.310	76.42%	0.000	-	0.000	±0.000	-		
200	4	2.00%	0.00%	0.039	0.258	26.445	41.22%	80.709	±14.701	55.59%	0.000	-	0.000	±0.000	-		
500	14	2.80%	40.00%	0.048	0.272	31.336	18.49%	98.756	±11.377	36.31%	0.000	-	0.000	±0.000	-		
1000	38	3.80%	35.71%	0.061	0.288	37.753	20.48%	112.063	±9.129	24.18%	5.463	-	31.210	±2.542	46.53%		
2000	57	2.85%	25.00%	0.057	0.299	35.184	6.80%	109.545	±6.310	17.93%	6.988	27.92%	40.854	±2.353	33.67%		
5000	135	2.70%	5.26%	0.057	0.300	35.095	0.25%	108.664	±3.959	11.28%	7.528	7.73%	50.017	±1.822	24.20%		
10000	286	2.86%	5.93%	0.060	0.303	36.745	4.70%	112.281	±2.892	7.87%	6.215	17.44%	42.859	±1.104	17.76%		
20000	571	2.86%	0.17%	0.059	0.301	36.041	1.92%	109.479	±1.994	5.53%	6.839	10.04%	47.015	±0.856	12.52%		
50000	1333	2.67%	6.62%	0.060	0.300	36.435	1.09%	111.264	±1.282	3.52%	6.655	2.69%	44.791	±0.516	7.75%		
100000	2934	2.93%	10.05%	0.060	0.299	36.619	0.51%	111.778	±0.911	2.49%	7.051	5.95%	48.818	±0.398	5.64%		
200000	5830	2.92%	0.65%	0.059	0.299	36.015	1.65%	110.044	±0.634	1.76%	7.252	2.85%	51.200	±0.295	4.07%		
300000	10253	3.42%	17.24%	0.059	0.299	36.073	0.16%	110.114	±0.518	1.44%	7.274	0.30%	51.487	±0.242	3.33%		
500000	17805	3.56%	4.19%	0.060	0.299	36.404	0.92%	110.723	±0.403	1.11%	7.095	2.46%	50.586	±0.184	2.59%		
1000000	32892	3.29%	7.63%	0.060	0.299	36.494	0.25%	111.059	±0.286	0.78%	7.118	0.32%	50.604	±0.130	1.83%		

За длину переходного режима возьмем значение 100000. Так как в дальнейшем характеристики перестают значительно изменяться.

Таблица 11. Вариант 9 исследования

Исх. Данные (вариант 9)		К 3	Е 0/1/1	поток трасса	а 206.06	б 366	КВ 0.58										
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П (%)	Длина очер.	Загрузка	Ср.вр. ож. BUF1	О (%) BUF1	СКО вр. ож. BUF1	Дов. инт. BUF1	Д (%) BUF1	Ср.вр. ож. BUF2	О (%) BUF2	СКО вр. ож. BUF2	Дов. инт. BUF2	Д (%) BUF2		
10	0	0.00%	-	0.000	0.222	0.00	-	0.000	±0.000	-	0.00	-	0.000	±0.000	-		
20	1	5.00%	-	0.088	0.394	62.329	0.00%	64.682	±37.258	59.78%	0.000	-	0.000	±0.000	-		
50	3	6.00%	20.00%	0.093	0.434	81.633	0.00%	117.324	±42.741	52.36%	20.656	-	0.000	±0.000	0.00%		
100	6	6.00%	0.00%	0.084	0.450	58.027	28.92%	115.265	±29.692	51.17%	37.537	81.72%	130.034	±33.497	89.24%		
200	15	7.50%	25.00%	0.147	0.486	104.360	79.85%	216.335	±39.406	37.76%	25.441	32.22%	96.236	±17.529	68.90%		
500	44	8.80%	17.33%	0.163	0.509	114.297	9.52%	223.910	±25.795	22.57%	19.640	22.80%	86.968	±10.019	51.01%		
1000	117	11.70%	32.95%	0.201	0.527	141.733	24.00%	289.068	±23.548	16.61%	26.760	36.25%	128.899	±10.500	39.24%		
2000	215	10.75%	8.12%	0.190	0.528	130.384	8.01%	267.303	±15.397	11.81%	26.988	0.85%	126.537	±7.289	27.01%		
5000	481	9.62%	10.51%	0.186	0.535	129.562	0.63%	282.771	±10.301	7.95%	28.505	5.62%	127.224	±4.635	16.26%		
10000	1051	10.51%	9.25%	0.191	0.541	130.313	0.58%	281.298	±7.246	5.56%	32.186	12.91%	141.125	±3.635	11.29%		
20000	2120	10.60%	0.86%	0.189	0.540	129.663	0.50%	279.997	±5.100	3.93%	28.516	11.40%	130.907	±2.384	8.36%		
50000	5019	10.04%	5.30%	0.193	0.540	131.931	1.75%	281.882	±3.247	2.46%	29.618	3.86%	134.453	±1.549	5.23%		
100000	10541	10.54%	5.01%	0.189	0.538	130.076	1.41%	279.458	±2.276	1.75%	31.432	6.12%	143.444	±1.168	3.72%		
200000	21666	10.83%	2.77%	0.189	0.538	129.646	0.33%	278.537	±1.604	1.24%	31.095	1.07%	143.236	±0.825	2.65%		
300000	38394	12.80%	18.14%	0.189	0.539	130.089	0.34%	280.132	±1.317	1.01%	31.071	0.08%	144.780	±0.681	2.19%		
500000	66549	13.31%	4.00%	0.189	0.539	130.602	0.39%	280.598	±1.022	0.78%	31.209	0.44%	147.765	±0.538	1.72%		
1000000	123100	12.31%	7.51%	0.191	0.539	130.928	0.25%	280.878	±0.724	0.55%	31.368	0.51%	149.285	±0.385	1.23%		

За длину переходного режима возьмем значение 100000. Так как в дальнейшем характеристики перестают значительно изменяться.

### 3. Анализ полученных результатов и выводы

#### 3.1. Вероятность потери

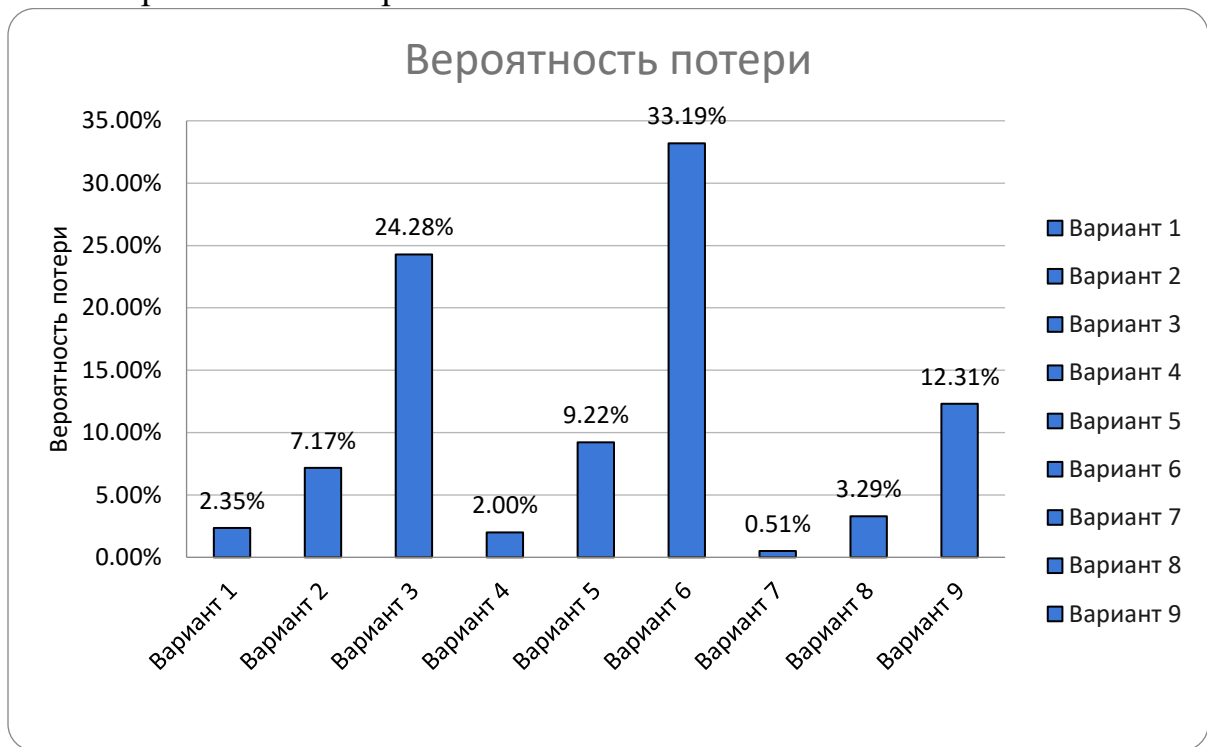


Рисунок 2. Вероятности потери разных вариантов модели

Чем больше длительность обслуживания заявки в системе, тем больше вероятность потери. Максимальная вероятность потери наблюдается при использовании потока – Аппроксимация со средней длительностью обслуживания заявок 433.



### 3.2. Длина очереди

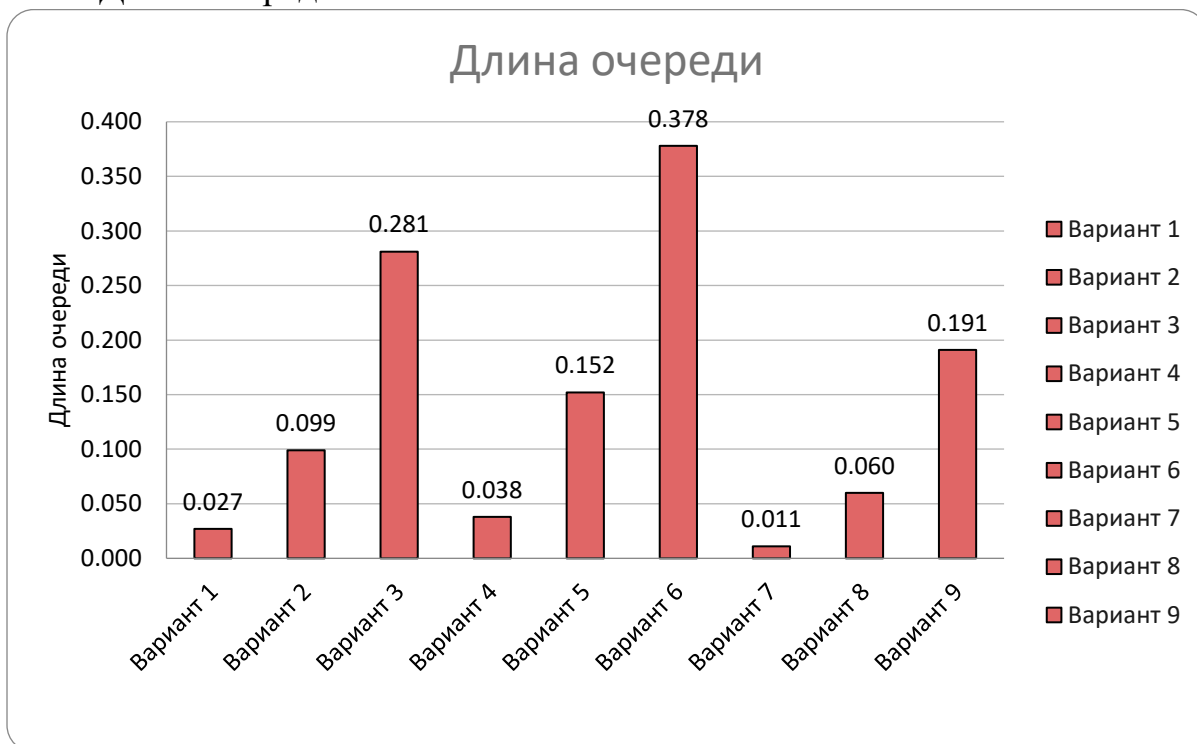


Рисунок 3. Длина очереди разных вариантов модели

Чем больше длительность обслуживания заявки в системе, тем больше длина очереди, так как заявки дольше ожидают освобождения прибора. Максимальная длина наблюдается при использовании потока – Аппроксимация со средней длительностью обслуживания заявок 433.

### 3.3. Загрузка

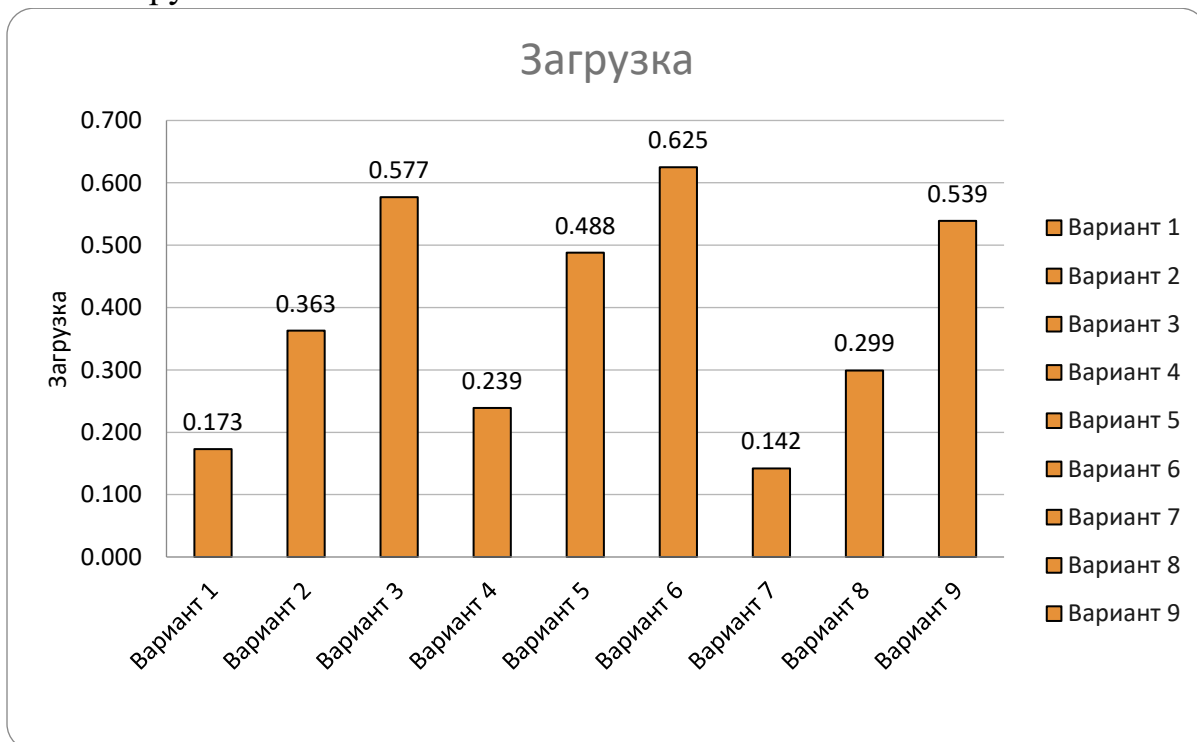


Рисунок 4. Загрузка разных вариантов модели

Загрузка также зависит от времени обслуживания заявок в системе. Чем больше длительность обслуживания заявки в системе, тем больше загрузка.

### 3.4. Среднее время ожидания

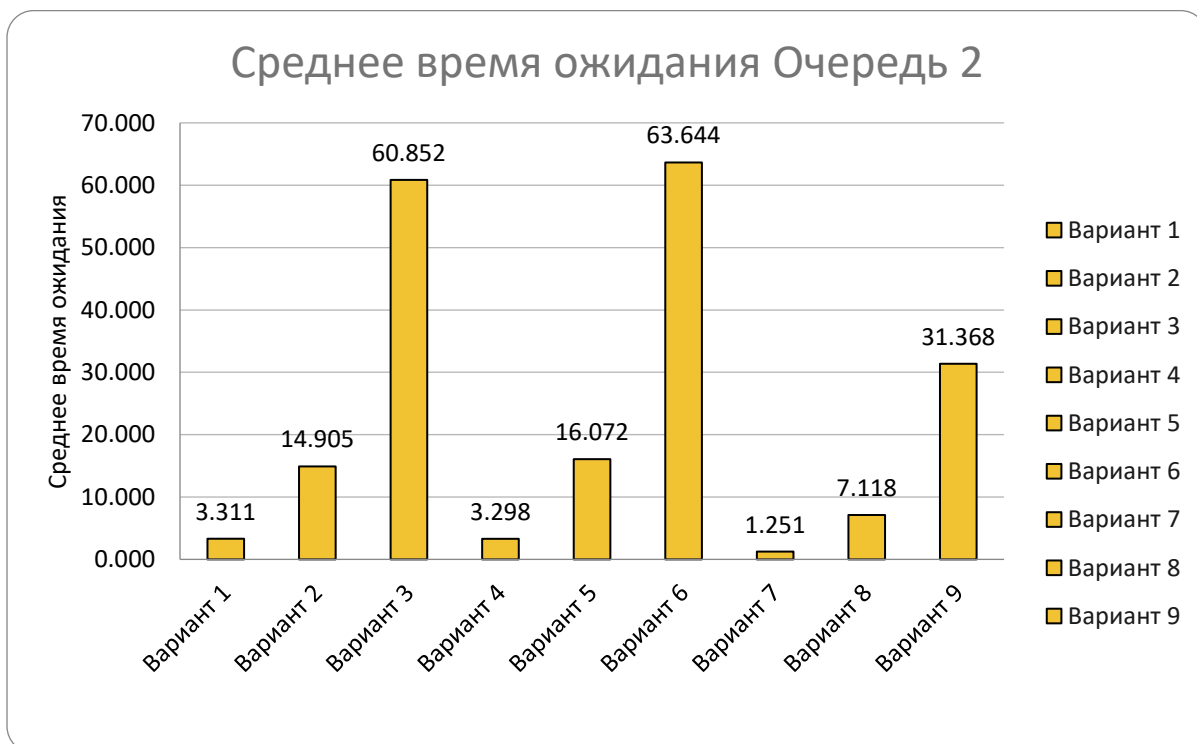
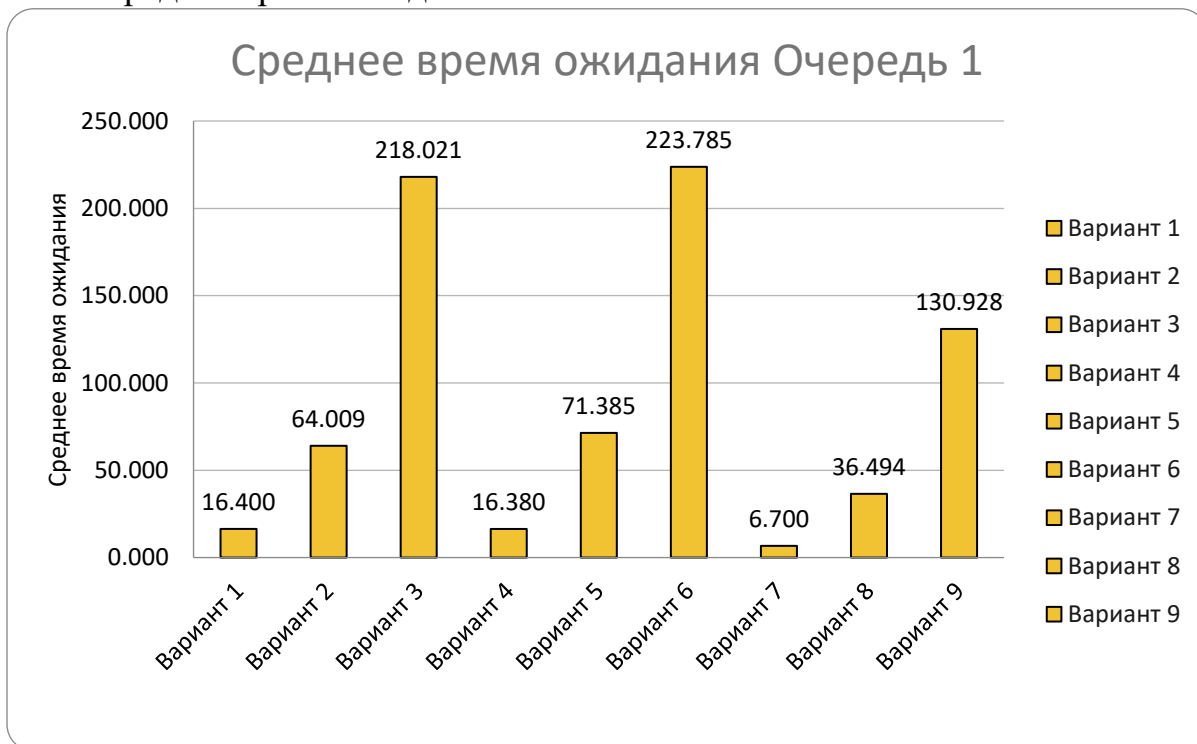


Рисунок 5. Среднее время ожидания разных вариантов модели

В системе присутствует две очереди на втором и третьем приборе. На очереди второго прибора среднее время ожидания больше, так как вероятность обработки заявки на втором приборе также больше. Среднее время ожидания в очереди также зависит от времени обслуживания заявок в системе. Чем больше длительность обслуживания заявки в системе, тем больше среднее время ожидания в очереди.

### 3.5. Длина переходного процесса

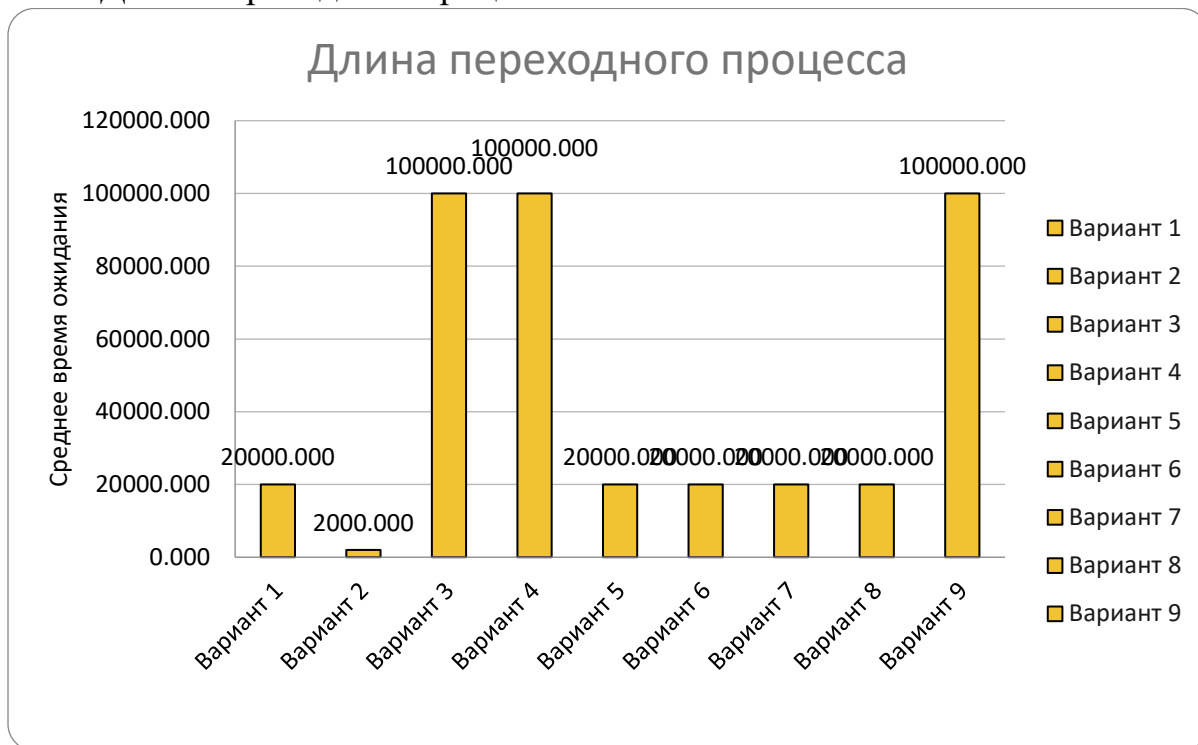


Рисунок 6. Длительность переходного процесса разных вариантов модели

## 4. Вывод

Итак, согласно проведённым экспериментам, можно сделать вывод, что такие характеристики, как вероятность потери, длина очереди и среднее время ожидания напрямую зависят от загрузки. Объяснить это можно тем, что с увеличением времени обслуживания СМО успевает обрабатывать всё меньше и меньше заявок, соответственно очередь и время ожидания растут, а заявкам просто не находится места и они вынуждены теряться, не проходя обработку на приборах.