

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования Национальный исследовательский университет ИТМО

Факультет программной инженерии и компьютерной техники

Моделирование  
Лабораторная работа №3  
Вариант № 1/1

Выполнил: студент группы Р3308,  
Васильев Н. А.

Преподаватель: Авксентьева Е. Ю.

Санкт-Петербург 2025

## Цель работы

Исследование свойств систем и сетей массового обслуживания с однородным потоком заявок в среде имитационного моделирования GPSS при различных предположениях о параметрах структурно-функциональной организации и нагрузки в соответствии с формируемой исследователем (студентом) программой исследований.

## Часть 1 «Исследование свойств систем массового обслуживания (СМО)»

Наилучшая система из УИР 2:

- Система содержит 3 обслуживающих прибора, к каждому из которых поступают заявки на обслуживание;
- В системе имеется три прибора с разной вероятностью выбора. Это означает, что каждая заявка, поступающая в систему, с вероятностью  $P_i$  направляется на обслуживание к соответствующему прибору;
- Перед первым прибором — 2 места, перед вторым и третьим прибором — 0 мест (то есть прибор обслуживает только 1 заявку, очередь отсутствует);

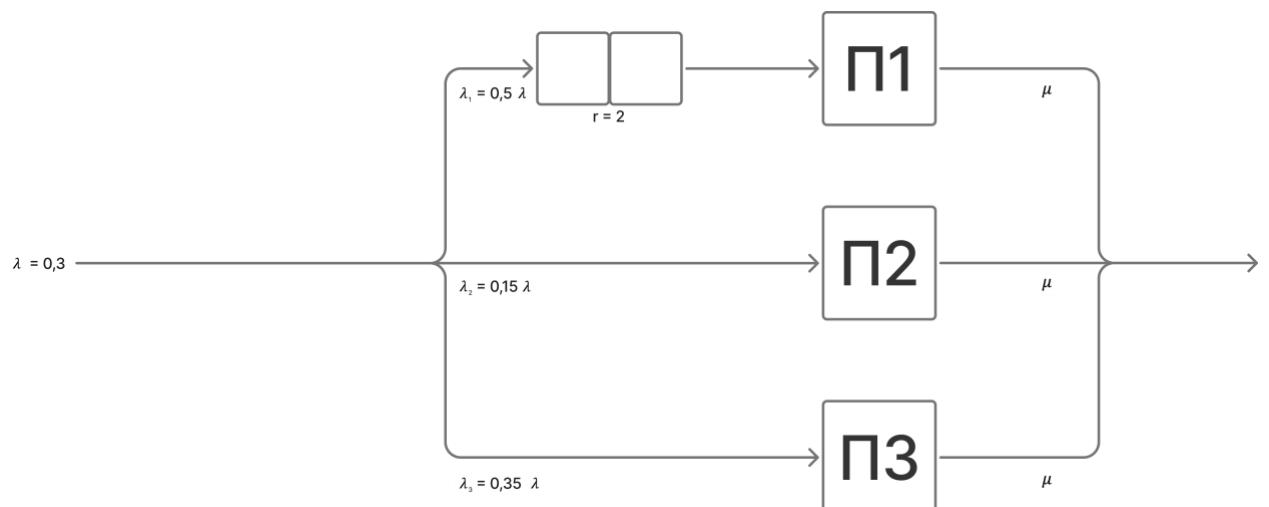


Рисунок 1 – Схематичное представление Системы.

Характеристики системы:

- Интенсивность потока  $\lambda = 0,3 \text{ 1/c}$ ;
- Средняя длительность обслуживания  $b = 15 \text{ c}$ ;
- Интенсивность обслуживания прибора:  $\mu = \frac{1}{15} \text{ 1/c}$ .

Сравнение результатов, полученных с помощью имитационного моделирования и метода марковских процессов для СМО, выбранной в качестве наилучшей в УИР 2.

Таблица 1 – Сравнение характеристик

Хар-ка	Расчет из УИР 2	Модель	Разница, %
Нагрузка	15	15	0
Загрузка	0,6317	0,6483	2,63
Вероятность потери	0,5404	0,5615	3,91
Длина очереди	1,3811	1,401	1,44
Производительность	0,1379	0,1316	-4,58

Коэффициент простоя системы	0,3683	0,3517	-4,52
Время пребывания	25,0169	25,429	1,65
Время ожидания	10,0169	10,652	6,34

В результате получаем, что по большинству параметров отклонения в пределах 5%, наибольшее расхождение для времени ожидания — 6,34%.

Таблица 2 – Описание исследуемых вариантов организации системы

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество приборов						3			
Емкость накопителя			2/0/0		5/0/0		2/0/0		
Интервалы между заявками входящего потока	Ср. значение		10,2263		5		20		10,226
	Вид потока		Простейший	Трасса	Аппроксимация		Эрланг		
Длительность обслуживания заявок	Ср. значение	15	25		15		5		15
	Коэф-т вариации				1				

### Результаты имитационных экспериментов

Простейший поток. Вариант 1

Исх.данные (вариант 1):		K	E	поток	a	b	KB			
		3	2/0/0	прост	10,226	15	1			
Заявок	Потери	Вер-ть потери	P(%)	Длина очер.	Загру-зка	Ср.вр.ож.	O(%)	СКО вр.ож.	Дов. инт.	D(%)
10	2	20.0%	-	0.318	0.323	7.286	-	10.176	8.289	113.77%
50	10	20.0%	1.0%	0.533	0.392	10.728	47.24%	9.157	3.336	31.1%
100	20	20.0%	1.0%	0.479	0.394	11.348	5.78%	22.095	5.692	50.16%
200	37	18.5%	0.93%	0.403	0.366	9.728	14.28%	18.436	3.358	34.52%
500	124	24.8%	1.34%	0.471	0.377	11.063	13.72%	17.855	2.057	18.59%
1000	228	22.8%	0.92%	0.455	0.376	10.629	3.92%	16.916	1.378	12.96%
2000	489	24.45%	1.07%	0.474	0.379	11.274	6.07%	18.214	1.049	9.31%
5000	1315	26.3%	1.08%	0.479	0.381	11.448	1.54%	17.630	0.642	5.61%
10000	2679	26.79%	1.02%	0.491	0.380	11.648	1.75%	17.790	0.458	3.93%
20000	5442	27.21%	1.02%	0.498	0.380	11.797	1.28%	17.729	0.323	2.74%
50000	13933	27.87%	1.02%	0.500	0.382	11.933	1.15%	17.801	0.205	1.72%
100000	27629	27.63%	0.99%	0.501	0.381	11.970	0.31%	17.812	0.145	1.21%
150000	41752	27.83%	1.01%	0.503	0.382	12.027	0.48%	17.927	0.119	0.99%
200000	55951	27.98%	1.01%	0.500	0.382	11.967	0.5%	17.886	0.103	0.86%
300000	83925	27.98%	1.0%	0.500	0.382	11.966	0.01%	17.923	0.084	0.7%
350000	97714	27.92%	1.0%	0.498	0.381	11.946	0.17%	17.906	0.078	0.65%
400000	111546	27.89%	1.0%	0.499	0.381	11.966	0.17%	17.916	0.073	0.61%
500000	139815	27.96%	1.0%	0.499	0.381	11.955	0.09%	17.934	0.065	0.55%
1000000	280243	28.02%	1.0%	0.498	0.381	11.954	0.01%	17.964	0.046	0.39%

Система работает в режиме высокой загрузки. Вероятность потерь стабилизируется около 28%, средняя длина очереди около 0.5, среднее время ожидания около 12. При увеличении числа заявок показатели быстро сходятся, модель устойчива.

Простейший поток. Вариант 2

Исх.данные	K	E	поток	a	b	KB
------------	---	---	-------	---	---	----

(вариант 2):		3	2/0/0	прост	10,226	25	1			
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П(%)	Длина очер.	Загрузка	Ср.вр.ож.	О(%)	СКО вр.ож.	Дов. инт.	Д(%)
10	3	30.0%	-	1.044	0.438	30.038	-	18.681	15.218	50.66%
50	26	52.0%	1.73%	0.866	0.502	22.730	24.33%	18.073	6.584	28.97%
100	48	48.0%	0.92%	1.059	0.506	32.484	42.91%	38.116	9.819	30.23%
200	111	55.5%	1.16%	0.900	0.493	26.675	17.88%	32.151	5.856	21.95%
500	270	54.0%	0.97%	0.831	0.508	24.530	8.04%	31.086	3.581	14.6%
1000	520	52.0%	0.96%	0.853	0.512	24.109	1.72%	28.816	2.347	9.74%
2000	1112	55.6%	1.07%	0.872	0.503	26.124	8.36%	33.767	1.945	7.45%
5000	2885	57.7%	1.04%	0.909	0.508	28.172	7.84%	33.501	1.22	4.33%
10000	5784	57.84%	1.0%	0.929	0.508	28.163	0.03%	33.385	0.86	3.05%
20000	11461	57.3%	0.99%	0.928	0.512	28.227	0.23%	33.123	0.603	2.14%
50000	29117	58.23%	1.02%	0.930	0.513	28.331	0.37%	33.372	0.384	1.36%
100000	57435	57.44%	0.99%	0.927	0.515	28.202	0.46%	33.018	0.269	0.95%
150000	86693	57.8%	1.01%	0.927	0.515	28.211	0.03%	33.161	0.221	0.78%
200000	115823	57.91%	1.0%	0.929	0.516	28.279	0.24%	33.250	0.192	0.68%
300000	172932	57.64%	1.0%	0.927	0.516	28.228	0.18%	33.318	0.157	0.56%
350000	202021	57.72%	1.0%	0.928	0.515	28.282	0.19%	33.368	0.145	0.51%
400000	230928	57.73%	1.0%	0.929	0.516	28.306	0.08%	33.359	0.136	0.48%
500000	288610	57.72%	1.0%	0.929	0.516	28.331	0.09%	33.464	0.122	0.43%
1000000	577022	57.7%	1.0%	0.929	0.516	28.322	0.03%	33.428	0.086	0.3%

Увеличение среднего времени обслуживания приводит к резкому росту потерь (до  $\approx 58\%$ ) и увеличению времени ожидания (до  $\approx 28$ ). Пропускная способность системы снижается, система работает в режиме перегрузки.

## Трасса. Вариант 3

Исх.данные (вариант 3):		K	E	поток	a	b	KB			
		3	2/0/0	трасса	10,226	15	1			
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П(%)	Длина очер.	Загру-зка	Ср.вр.ож.	O(%)	СКО вр.ож.	Дов.инт.	Д(%)
10	50	500.0%	-	1.592	0.764	14.288	-	14.874	12.116	84.8%
50	198	396.0%	0.79%	1.733	0.839	16.166	13.14%	11.191	4.077	25.22%
100	493	493.0%	1.24%	1.721	0.843	19.334	19.6%	15.696	4.043	20.91%
200	952	476.0%	0.97%	1.740	0.850	20.920	8.2%	16.594	3.023	14.45%
500	2482	496.4%	1.04%	1.793	0.843	23.640	13.0%	18.712	2.156	9.12%
1000	4929	492.9%	0.99%	1.815	0.838	24.195	2.35%	19.369	1.578	6.52%
2000	10083	504.15%	1.02%	1.804	0.842	24.215	0.08%	20.112	1.158	4.78%
5000	26114	522.28%	1.04%	1.821	0.842	25.836	6.69%	20.834	0.759	2.94%
10000	51964	519.64%	0.99%	1.822	0.841	26.472	2.46%	21.055	0.542	2.05%
20000	104749	523.75%	1.01%	1.822	0.840	26.720	0.94%	20.821	0.379	1.42%
50000	262905	525.81%	1.0%	1.825	0.841	27.052	1.24%	20.960	0.241	0.89%
100000	527388	527.39%	1.0%	1.824	0.840	27.223	0.63%	21.087	0.172	0.63%
150000	793079	528.72%	1.0%	1.825	0.840	27.315	0.34%	21.185	0.141	0.52%
200000	1058929	529.46%	1.0%	1.826	0.840	27.380	0.24%	21.233	0.122	0.45%
300000	1588569	529.52%	1.0%	1.825	0.840	27.383	0.01%	21.165	0.1	0.36%
350000	1853426	529.55%	1.0%	1.825	0.840	27.362	0.08%	21.136	0.092	0.34%
400000	2119000	529.75%	1.0%	1.825	0.840	27.382	0.07%	21.149	0.086	0.31%
500000	2649239	529.85%	1.0%	1.825	0.840	27.447	0.24%	21.244	0.077	0.28%
1000000	5298695	529.87%	1.0%	1.826	0.840	27.494	0.17%	21.290	0.055	0.2%

Детерминированный (трассовый) поток вызывает крайне высокую перегрузку потери превышают 500% относительно входного числа заявок, очередь работает почти непрерывно. Система явно не справляется с нагрузкой, режим нестабилен.

## Аппроксимация. Вариант 4

<b>Исх.данные (вариант 4):</b>	<b>K</b>	<b>E</b>	<b>ПОТОК</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>KB</b>
	3	2/0/0	аппрок	10,226	15	1

Заявок	Потери	Вер-ть потери	Π(%)	Длина очер.	Загру-зка	Ср.вр.ож.	Ο(%)	СКО вр.ож.	Дов. инт.	Δ(%)
10	2	20.0%	-	0.435	0.216	10.229	-	17.306	14.098	137.82%
50	11	22.0%	1.1%	0.282	0.218	10.403	1.7%	17.302	6.303	60.59%
100	24	24.0%	1.09%	0.183	0.188	8.515	18.15%	14.996	3.863	45.37%
200	42	21.0%	0.88%	0.167	0.195	7.600	10.75%	13.507	2.46	32.37%
500	109	21.8%	1.04%	0.190	0.188	8.820	16.05%	14.674	1.69	19.17%
1000	221	22.1%	1.01%	0.170	0.177	8.318	5.69%	14.556	1.186	14.26%
2000	417	20.85%	0.94%	0.167	0.168	8.397	0.95%	15.147	0.872	10.39%
5000	1118	22.36%	1.07%	0.164	0.169	8.550	1.82%	15.547	0.566	6.62%
10000	2273	22.73%	1.02%	0.167	0.166	8.774	2.62%	15.829	0.408	4.65%
20000	4634	23.17%	1.02%	0.170	0.168	8.966	2.19%	16.099	0.293	3.27%
50000	11668	23.34%	1.01%	0.165	0.167	8.846	1.34%	15.794	0.182	2.06%
100000	23650	23.65%	1.01%	0.163	0.166	8.766	0.9%	15.658	0.128	1.46%
150000	35775	23.85%	1.01%	0.166	0.168	8.867	1.15%	15.821	0.105	1.19%
200000	47650	23.82%	1.0%	0.166	0.167	8.922	0.62%	15.909	0.092	1.03%
300000	71577	23.86%	1.0%	0.167	0.167	8.912	0.11%	15.904	0.075	0.84%
350000	83548	23.87%	1.0%	0.167	0.168	8.911	0.01%	15.906	0.069	0.78%
400000	95227	23.81%	1.0%	0.167	0.168	8.907	0.04%	15.903	0.065	0.73%
500000	118992	23.8%	1.0%	0.167	0.168	8.908	0.01%	15.944	0.058	0.65%
1000000	238320	23.83%	1.0%	0.166	0.168	8.873	0.39%	15.924	0.041	0.46%

Система демонстрирует более стабильную работу по сравнению с простейшим потоком: потери около 23–24%, очередь короче, чем в варианте 1, среднее ожидание около 9. Аппроксимация сглаживает пиковые нагрузки.

#### Аппроксимация. Вариант 5

Исх.данные (вариант 5):	K	E	поток	a	b	ΚΒ				
	3	2/0/0	аппрок	5	15	1				
Заявок	Потери	Вер-ть потери	Π(%)	Длина очер.	Загру-зка	Ср.вр.ож.	Ο(%)	СКО вр.ож.	Дов. инт.	Δ(%)
10	2	20.0%	-	0.435	0.216	10.229	-	17.306	14.098	137.82%
50	11	22.0%	1.1%	0.282	0.218	10.403	1.7%	17.302	6.303	60.59%
100	24	24.0%	1.09%	0.183	0.188	8.515	18.15%	14.996	3.863	45.37%
200	42	21.0%	0.88%	0.167	0.195	7.600	10.75%	13.507	2.46	32.37%
500	109	21.8%	1.04%	0.190	0.188	8.820	16.05%	14.674	1.69	19.17%
1000	221	22.1%	1.01%	0.170	0.177	8.318	5.69%	14.556	1.186	14.26%
2000	417	20.85%	0.94%	0.167	0.168	8.397	0.95%	15.147	0.872	10.39%
5000	1118	22.36%	1.07%	0.164	0.169	8.550	1.82%	15.547	0.566	6.62%
10000	2273	22.73%	1.02%	0.167	0.166	8.774	2.62%	15.829	0.408	4.65%
20000	4634	23.17%	1.02%	0.170	0.168	8.966	2.19%	16.099	0.293	3.27%
50000	11668	23.34%	1.01%	0.165	0.167	8.846	1.34%	15.794	0.182	2.06%
100000	23650	23.65%	1.01%	0.163	0.166	8.766	0.9%	15.658	0.128	1.46%
150000	35775	23.85%	1.01%	0.166	0.168	8.867	1.15%	15.821	0.105	1.19%
200000	47650	23.82%	1.0%	0.166	0.167	8.922	0.62%	15.909	0.092	1.03%
300000	71577	23.86%	1.0%	0.167	0.167	8.912	0.11%	15.904	0.075	0.84%
350000	83548	23.87%	1.0%	0.167	0.168	8.911	0.01%	15.906	0.069	0.78%
400000	95227	23.81%	1.0%	0.167	0.168	8.907	0.04%	15.903	0.065	0.73%
500000	118992	23.8%	1.0%	0.167	0.168	8.908	0.01%	15.944	0.058	0.65%
1000000	238320	23.83%	1.0%	0.166	0.168	8.873	0.39%	15.924	0.041	0.46%

При увеличении интенсивности входного потока возрастают потери и время ожидания, но система остаётся устойчивой. Показатели близки к варианту 4, но очередь и ожидание немного выше из-за более плотного потока.

#### Аппроксимация. Вариант 6

Исх.данные (вариант 6):	K	E	поток	a	b	ΚΒ				
	3	5/0/0	аппрок	5	15	1				
Заявок	Потери	Вер-ть потери	Π(%)	Длина	Загру-	Ср.вр.	Ο(%)	СКО	Дов.	Δ(%)

		<b>потери</b>		<b>очер.</b>	<b>зка</b>	<b>ож.</b>		<b>вр.ож.</b>	<b>инт.</b>	
10	1	10.0%	-	0.591	0.216	14.705	-	22.311	18.175	123.59%
50	9	18.0%	1.8%	0.230	0.219	7.810	46.89%	13.276	4.836	61.93%
100	19	19.0%	1.06%	0.283	0.199	12.037	54.12%	18.968	4.886	40.59%
200	37	18.5%	0.97%	0.235	0.197	10.245	14.89%	18.247	3.324	32.44%
500	85	17.0%	0.92%	0.341	0.194	14.839	44.84%	26.148	3.012	20.3%
1000	188	18.8%	1.11%	0.294	0.181	13.322	10.22%	23.666	1.928	14.47%
2000	337	16.85%	0.9%	0.277	0.174	12.984	2.54%	23.170	1.335	10.28%
5000	843	16.86%	1.0%	0.270	0.177	13.016	0.25%	21.709	0.791	6.08%
10000	1679	16.79%	1.0%	0.283	0.174	13.732	5.5%	22.667	0.584	4.25%
20000	3487	17.44%	1.04%	0.290	0.177	13.966	1.7%	22.916	0.417	2.99%
50000	8631	17.26%	0.99%	0.288	0.175	14.111	1.04%	23.118	0.266	1.89%
100000	17482	17.48%	1.01%	0.286	0.175	14.060	0.36%	23.127	0.188	1.34%
150000	17482	11.65%	0.67%	0.286	0.175	14.060	0.0%	23.127	0.154	1.09%
200000	35356	17.68%	1.52%	0.293	0.176	14.331	1.93%	23.466	0.135	0.94%
300000	53105	17.7%	1.0%	0.293	0.176	14.318	0.09%	23.434	0.11	0.77%
350000	61757	17.64%	1.0%	0.294	0.177	14.353	0.24%	23.497	0.102	0.71%
400000	70493	17.62%	1.0%	0.296	0.177	14.410	0.4%	23.580	0.096	0.67%
500000	88050	17.61%	1.0%	0.295	0.177	14.354	0.39%	23.484	0.086	0.6%
1000000	176077	17.61%	1.0%	0.294	0.177	14.372	0.13%	23.525	0.061	0.42%

Увеличение ёмкости буфера снижает вероятность потерь ( $\approx 17\%$ ), но увеличивает среднее время ожидания. Это классический компромисс: меньше потерь — больше задержка в системе.

Аппроксимация. Вариант 7

<b>Исх.данные (вариант 7):</b>		<b>K</b>	<b>E</b>	<b>поток</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>KB</b>			
		3	2/0/0	аппрок	20	15	1			
<b>Заявок</b>	<b>Потери</b>	<b>Вер-ть потери</b>	<b>П(%)</b>	<b>Длина очер.</b>	<b>Загру-зка</b>	<b>Ср.вр.ож.</b>	<b>O(%)</b>	<b>СКО вр.ож.</b>	<b>Дов. инт.</b>	<b>Д(%)</b>
10	2	20.0%	-	0.435	0.216	10.229	-	17.306	14.098	137.82%
50	11	22.0%	1.1%	0.282	0.218	10.403	1.7%	17.302	6.303	60.59%
100	24	24.0%	1.09%	0.183	0.188	8.515	18.15%	14.996	3.863	45.37%
200	42	21.0%	0.88%	0.167	0.195	7.600	10.75%	13.507	2.46	32.37%
500	109	21.8%	1.04%	0.190	0.188	8.820	16.05%	14.674	1.69	19.17%
1000	221	22.1%	1.01%	0.170	0.177	8.318	5.69%	14.556	1.186	14.26%
2000	417	20.85%	0.94%	0.167	0.168	8.397	0.95%	15.147	0.872	10.39%
5000	1118	22.36%	1.07%	0.164	0.169	8.550	1.82%	15.547	0.566	6.62%
10000	2273	22.73%	1.02%	0.167	0.166	8.774	2.62%	15.829	0.408	4.65%
20000	4634	23.17%	1.02%	0.170	0.168	8.966	2.19%	16.099	0.293	3.27%
50000	11668	23.34%	1.01%	0.165	0.167	8.846	1.34%	15.794	0.182	2.06%
100000	23650	23.65%	1.01%	0.163	0.166	8.766	0.9%	15.658	0.128	1.46%
150000	35775	23.85%	1.01%	0.166	0.168	8.867	1.15%	15.821	0.105	1.19%
200000	47650	23.82%	1.0%	0.166	0.167	8.922	0.62%	15.909	0.092	1.03%
300000	71577	23.86%	1.0%	0.167	0.167	8.912	0.11%	15.904	0.075	0.84%
350000	83548	23.87%	1.0%	0.167	0.168	8.911	0.01%	15.906	0.069	0.78%
400000	95227	23.81%	1.0%	0.167	0.168	8.907	0.04%	15.903	0.065	0.73%
500000	118992	23.8%	1.0%	0.167	0.168	8.908	0.01%	15.944	0.058	0.65%
1000000	238320	23.83%	1.0%	0.166	0.168	8.873	0.39%	15.924	0.041	0.46%

Уменьшение интенсивности входного потока снижает нагрузку на систему: падают потери и длина очереди, время ожидания становится меньше. Система работает в более «комфортном» режиме.

Аппроксимация. Вариант 8

<b>Исх.данные (вариант 8):</b>		<b>K</b>	<b>E</b>	<b>поток</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>KB</b>			
		3	2/0/0	аппрок	10,226	5	1			
<b>Заявок</b>	<b>Потери</b>	<b>Вер-ть потери</b>	<b>П(%)</b>	<b>Длина очер.</b>	<b>Загру-зка</b>	<b>Ср.вр.ож.</b>	<b>O(%)</b>	<b>СКО вр.ож.</b>	<b>Дов. инт.</b>	<b>Д(%)</b>
10	1	10.0%	-	0.591	0.216	14.705	-	22.311	18.175	123.59%
50	9	18.0%	1.8%	0.230	0.219	7.810	46.89%	13.276	4.836	61.93%
100	19	19.0%	1.06%	0.283	0.199	12.037	54.12%	18.968	4.886	40.59%
200	37	18.5%	0.97%	0.235	0.197	10.245	14.89%	18.247	3.324	32.44%
500	85	17.0%	0.92%	0.341	0.194	14.839	44.84%	26.148	3.012	20.3%
1000	188	18.8%	1.11%	0.294	0.181	13.322	10.22%	23.666	1.928	14.47%
2000	337	16.85%	0.9%	0.277	0.174	12.984	2.54%	23.170	1.335	10.28%
5000	843	16.86%	1.0%	0.270	0.177	13.016	0.25%	21.709	0.791	6.08%
10000	1679	16.79%	1.0%	0.283	0.174	13.732	5.5%	22.667	0.584	4.25%
20000	3487	17.44%	1.04%	0.290	0.177	13.966	1.7%	22.916	0.417	2.99%
50000	8631	17.26%	0.99%	0.288	0.175	14.111	1.04%	23.118	0.266	1.89%
100000	17482	17.48%	1.01%	0.286	0.175	14.060	0.36%	23.127	0.188	1.34%
150000	17482	11.65%	0.67%	0.286	0.175	14.060	0.0%	23.127	0.154	1.09%
200000	35356	17.68%	1.52%	0.293	0.176	14.331	1.93%	23.466	0.135	0.94%
300000	53105	17.7%	1.0%	0.293	0.176	14.318	0.09%	23.434	0.11	0.77%
350000	61757	17.64%	1.0%	0.294	0.177	14.353	0.24%	23.497	0.102	0.71%
400000	70493	17.62%	1.0%	0.296	0.177	14.410	0.4%	23.580	0.096	0.67%
500000	88050	17.61%	1.0%	0.295	0.177	14.354	0.39%	23.484	0.086	0.6%
1000000	176077	17.61%	1.0%	0.294	0.177	14.372	0.13%	23.525	0.061	0.42%

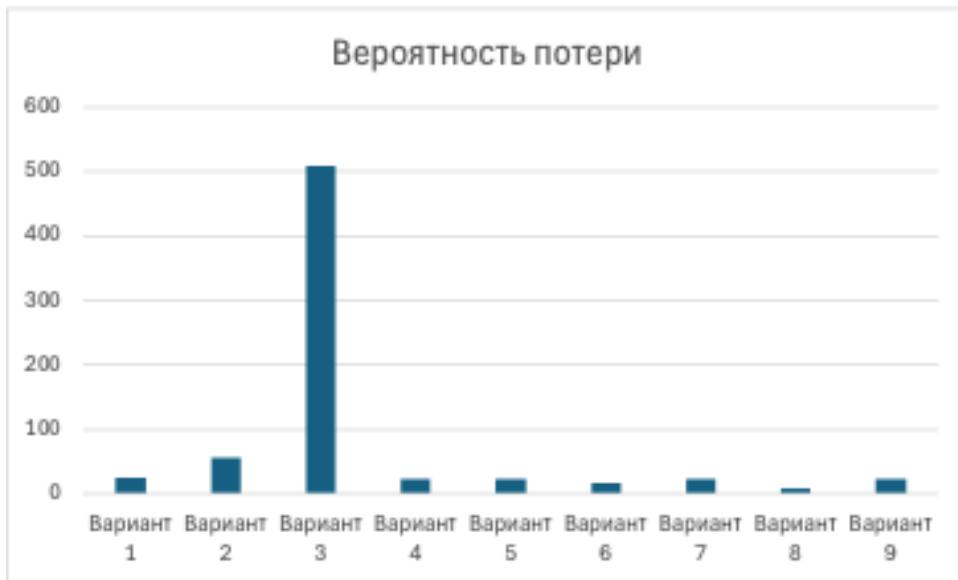
10	1	10.0%	-	0.036	0.030	0.990	-	1.887	1.537	155.27%
50	3	6.0%	0.6%	0.011	0.037	0.351	64.55%	1.038	0.378	107.73%
100	10	10.0%	1.67%	0.012	0.033	0.435	23.93%	1.201	0.309	71.12%
200	17	8.5%	0.85%	0.007	0.028	0.312	28.28%	0.980	0.179	57.21%
500	38	7.6%	0.89%	0.009	0.028	0.399	27.88%	1.117	0.129	32.25%
1000	77	7.7%	1.01%	0.010	0.027	0.438	9.77%	1.165	0.095	21.67%
2000	146	7.3%	0.95%	0.011	0.026	0.529	20.78%	1.426	0.082	15.53%
5000	386	7.72%	1.06%	0.010	0.026	0.501	5.29%	1.356	0.049	9.86%
10000	777	7.77%	1.01%	0.011	0.025	0.523	4.39%	1.430	0.037	7.04%
20000	1614	8.07%	1.04%	0.011	0.026	0.540	3.25%	1.480	0.027	4.99%
50000	4022	8.04%	1.0%	0.011	0.025	0.540	0.0%	1.480	0.017	3.16%
100000	7922	7.92%	0.99%	0.011	0.025	0.541	0.19%	1.498	0.012	2.26%
150000	12010	8.01%	1.01%	0.011	0.026	0.548	1.29%	1.508	0.01	1.83%
200000	15958	7.98%	1.0%	0.011	0.026	0.548	0.0%	1.504	0.009	1.58%
300000	23836	7.95%	1.0%	0.011	0.026	0.553	0.91%	1.512	0.007	1.29%
350000	27751	7.93%	1.0%	0.011	0.026	0.551	0.36%	1.508	0.007	1.19%
400000	31646	7.91%	1.0%	0.011	0.026	0.552	0.18%	1.511	0.006	1.11%
500000	39440	7.89%	1.0%	0.011	0.026	0.552	0.0%	1.509	0.005	1.0%
1000000	78861	7.89%	1.0%	0.011	0.026	0.550	0.36%	1.504	0.004	0.7%

Сокращение времени обслуживания резко повышает пропускную способность: потери стабилизируются около 8%, очередь практически отсутствует, ожидание минимально. Это наиболее эффективный режим среди аппроксимированных потоков.

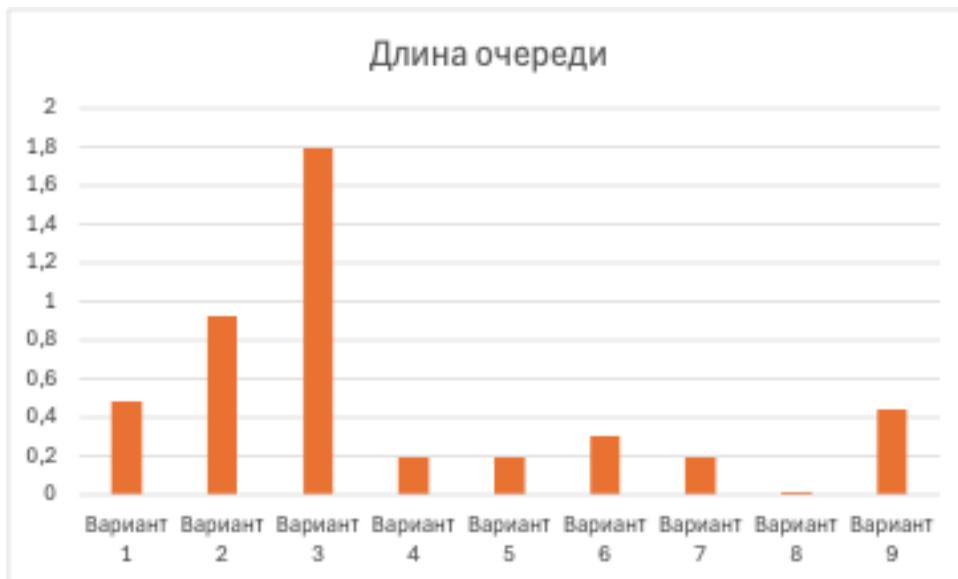
Эрланг. Вариант 9

Исх.данные (вариант 9):		K	E	поток	a	b	КВ			
		3	2/0/0	эрланг	10,226	15	1			
Заявок	Потери	Вер-ть потери	Π(%)	Длина очер.	Загру-зка	Ср.вр.ож.	O(%)	СКО вр.ож.	Дов. инт.	D(%)
10	1	10.0%	-	0.005	0.235	0.171	-	0.383	0.312	182.45%
50	9	18.0%	1.8%	0.409	0.364	8.688	4980.7%	10.861	3.957	45.54%
100	20	20.0%	1.11%	0.341	0.394	7.745	10.85%	11.366	2.928	37.8%
200	42	21.0%	1.05%	0.391	0.390	8.540	10.26%	12.356	2.251	26.35%
500	116	23.2%	1.1%	0.461	0.385	10.604	24.17%	17.388	2.003	18.89%
1000	214	21.4%	0.92%	0.426	0.384	9.771	7.86%	15.763	1.284	13.14%
2000	425	21.25%	0.99%	0.462	0.390	10.644	8.93%	16.803	0.968	9.09%
5000	1129	22.58%	1.06%	0.470	0.391	11.004	3.38%	17.379	0.633	5.75%
10000	2271	22.71%	1.01%	0.477	0.391	11.094	0.82%	17.156	0.442	3.98%
20000	4507	22.54%	0.99%	0.484	0.390	11.236	1.28%	17.322	0.316	2.81%
50000	11659	23.32%	1.03%	0.487	0.393	11.325	0.79%	17.553	0.202	1.79%
100000	23382	23.38%	1.0%	0.485	0.393	11.248	0.68%	17.360	0.141	1.26%
150000	35077	23.38%	1.0%	0.484	0.394	11.226	0.2%	17.419	0.116	1.03%
200000	46847	23.42%	1.0%	0.484	0.395	11.240	0.12%	17.450	0.101	0.89%
300000	70197	23.4%	1.0%	0.486	0.394	11.287	0.42%	17.523	0.082	0.73%
350000	82040	23.44%	1.0%	0.486	0.394	11.308	0.19%	17.543	0.076	0.68%
400000	93805	23.45%	1.0%	0.488	0.395	11.354	0.41%	17.557	0.072	0.63%
500000	117684	23.54%	1.0%	0.490	0.395	11.391	0.33%	17.609	0.064	0.56%
1000000	235642	23.56%	1.0%	0.491	0.395	11.414	0.2%	17.619	0.045	0.4%

Эрланг сглаживает вариацию интервалов поступления заявок. Поведение системы становится близким к варианту 1, но с более стабильными показателями: потери около 23–24%, очередь и ожидание умеренные. Система предсказуема и устойчива.



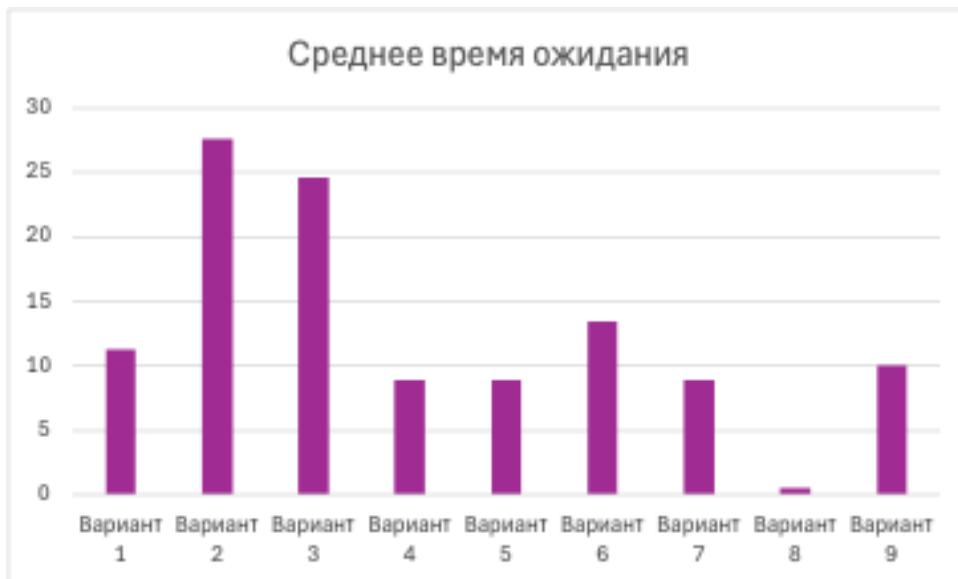
Наибольшая вероятность потери наблюдается в варианте 3, что говорит о перегрузке системы. В вариантах 4–9 потери значительно ниже, а наиболее стабильная работа наблюдается в варианте 8.



Максимальная длина очереди характерна для варианта 3, что подтверждает недостаточную пропускную способность системы. В вариантах 4–9 очередь значительно короче, минимальные значения наблюдаются в варианте 8.



Наибольшая загрузка системы наблюдается в варианте 3, что указывает на работу в режиме, близком к перегрузке. Наименьшая загрузка — в варианте 8, где имеется значительный резерв производительности.



Максимальное время ожидания характерно для варианта 2 и 3, что свидетельствует о высокой задержке обслуживания. Минимальные значения наблюдаются в варианте 8, где система работает наиболее эффективно.

## Вывод

В ходе лабораторной работы было показано, что характеристики системы массового обслуживания существенно зависят от: типа входного потока, интенсивности поступления заявок, среднего времени обслуживания, ёмкости буфера.

Экспоненциальный (простейший) поток и трассовый поток приводят к наибольшей перегрузке системы. Аппроксимированные и эрланговские потоки обеспечивают более устойчивую и предсказуемую работу. Увеличение буфера снижает потери, но увеличивает время ожидания, а уменьшение времени обслуживания радикально повышает эффективность системы.

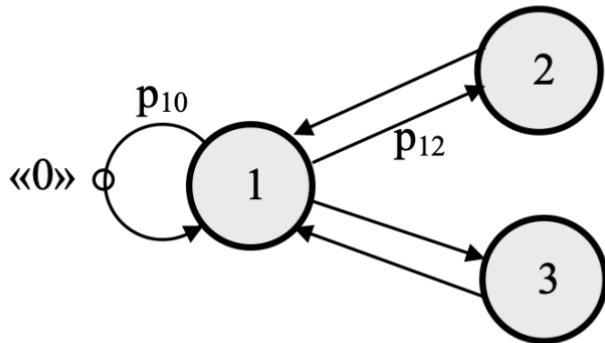
Имитационные результаты хорошо согласуются с аналитическими оценками, а расхождения не превышают допустимые значения.

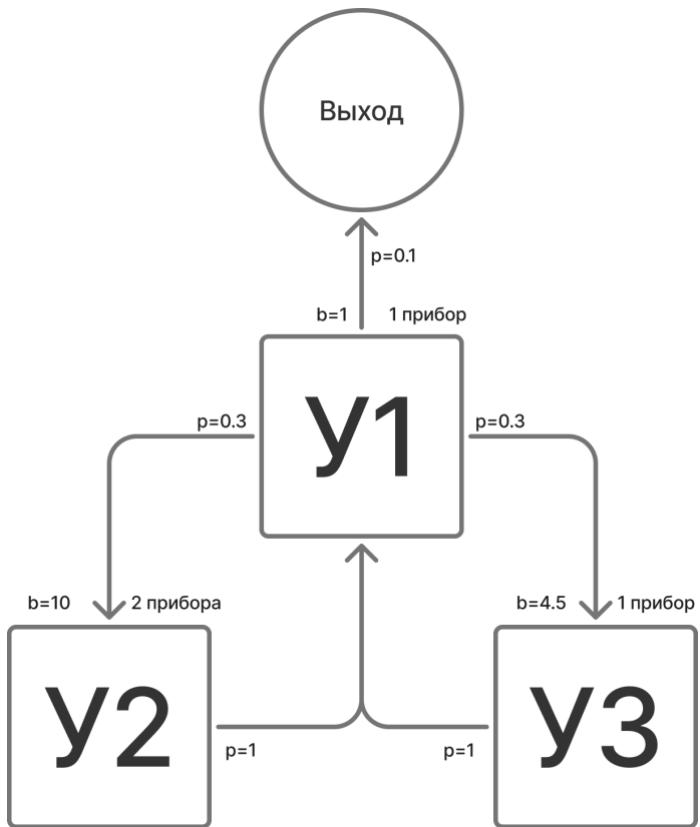
## Часть 2 «Исследование свойств сетей массового обслуживания (CeMO)»

Вариант	К-во узлов n	Количество приборов в узлах				Номер узла	Тип модели
		У1	У2	У3	У4		
1	3	1	2	1		2	M1

Вариант	Вероятности передач			Средние длительности обслуживания, с			
	$p_{10}$	$p_{12}$	$p_{13}$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$
1	0,1	0,3	0,3	1	10	4,5	20

### Модель M1





Листинг программы на GPSS для ЗСеМО

```

; --- ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ---
A_MEAN1 EQU 1.0 ; Среднее обслуживание для узла 1
A_MEAN2 EQU 10.0 ; Среднее обслуживание для узла 2
A_MEAN3 EQU 4.5 ; Среднее обслуживание для узла 3
; --- ВЕРОЯТНОСТИ ПЕРЕХОДОВ --
P_11 EQU 0.4
P_12 EQU 0.7
P_13 EQU 0.3
M_COUNT EQU 10 ; Количество заявок, которое будет сгенерировано в начале
                 ; симуляции
SIM_TIME EQU 100000
qq EQU 0.7 ; Вероятность выбора первого потока
tt_1 EQU 15 ; Матожидание первого распределения
tt_2 EQU 15 ; Параметр второго распределения
N_1 STORAGE 1 ; В узле 1 - 1 прибор
N_2 STORAGE 2 ; В узле 2 - 2 прибора

```

```
N_3 STORAGE 1 ; В узле 3 – 1 прибор
```

```
Erl_2 VARIABLE (Exponential(7,0,A_MEAN2/2))+(Exponential(8,0,A_MEAN2/2));  
сл.величина по закону Эрланга 2-го порядка
```

```
GENERATE,,,M_COUNT ; Генерация заявок, M_COUNT – это количество заявок,  
которое будет создано в начале симуляции.
```

```
SERV1 QUEUE queue_1 ; Вход в очередь
```

```
ENTER N_1 ; Заявка входит в очередь на обслуживание в узле 1
```

```
DEPART queue_1 ; Заявка покидает очередь узла 1 после обслуживания
```

```
ADVANCE (Exponential(3,0,A_MEAN1)) ; Обслуживание заявки в узле 1 по  
экспоненциальному закону с параметром A_MEAN1. Используем RNG 3
```

```
LEAVE N_1 ; Заявка покидает узел 1 после завершения обслуживания
```

```
ASSIGN 1,(Uniform(1,0,1)) ; Присваивание случайного значения P1, равномерно  
распределенного от 0 до 1
```

```
TEST G P1,P_11,SERV1 ; Если P1 < P_11, то заявка возвращается в SERV1  
(переходит в этот же узел)
```

```
TEST G P1,P_12,SERV2 ; Если P1 >= P_11, но < P_12, то заявка переходит в  
SERV2 (узел 2)
```

```
TRANSFER ,SERV3 ; Иначе заявка переходит в SERV3 (узел 3)
```

```
SERV2 QUEUE queue_2 ; Вход в очередь
```

```
ENTER N_2 ; Заявка входит в очередь на обслуживание в узле 2
```

```
DEPART queue_2 ; Заявка покидает очередь узла 2 после обслуживания
```

```
ADVANCE (Exponential(4,0,A_MEAN2)) ; Используем RNG 4
```

```
LEAVE N_2 ; Заявка покидает узел 2 после завершения обслуживания
```

```
TRANSFER ,SERV1 ; После обслуживания заявка переходит обратно в SERV1  
(узел 1)
```

```
SERV3 QUEUE queue_3 ; Вход в очередь
```

```
ENTER N_3 ; Заявка входит в очередь на обслуживание в узле 3
```

```
DEPART queue_3 ; Заявка покидает очередь узла 3 после обслуживания
```

```
ADVANCE (Exponential(5,0,A_MEAN3)) ; Обслуживание заявки в узле 3 по  
экспоненциальному закону с параметром A_MEAN3
```

```
LEAVE N_3 ; Заявка покидает узел 3 после завершения обслуживания
```

```

TRANSFER ,SERV1 ; После обслуживания заявка возвращается в SERV1 (узел 1)

GENERATE SIM_TIME

TERMINATE 1 ; Завершение работы симуляции

```

```

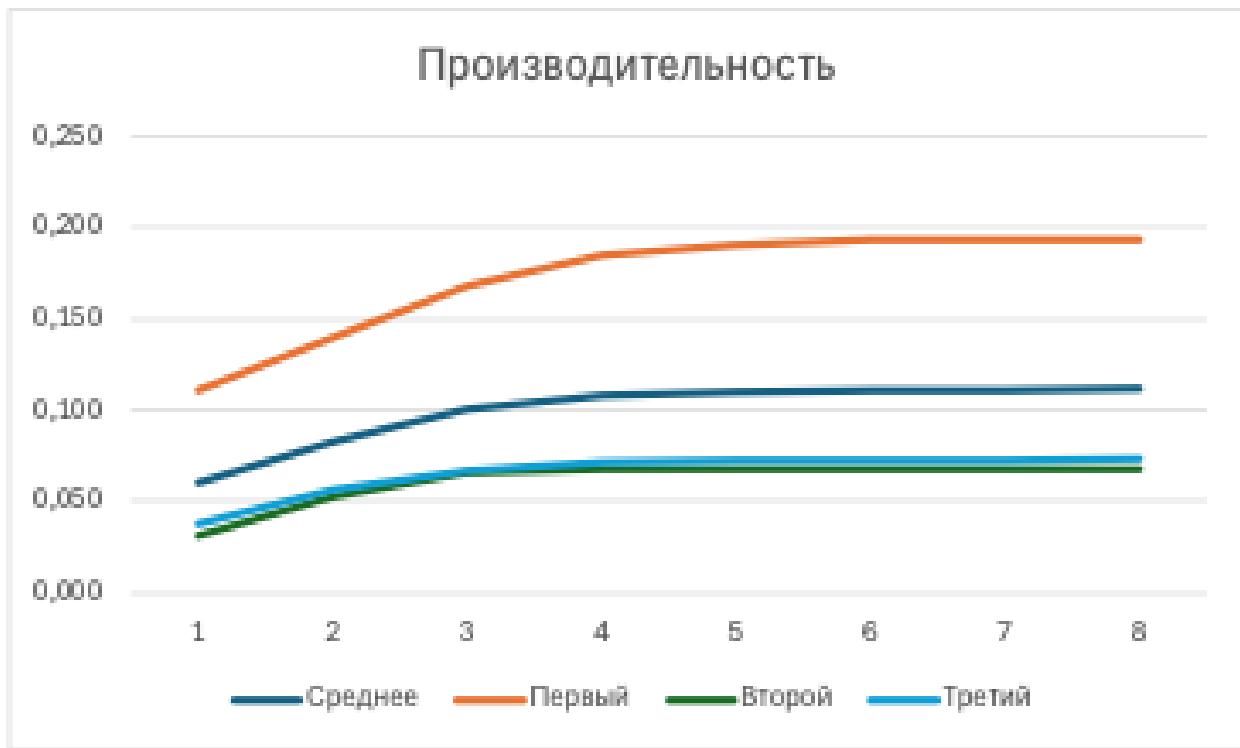
START 1

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;

```

### Обработка результатов имитационного моделирования для ЗСeМО

Характеристики CeMO	(Критич. число = 6)							
	Число заявок в CeMO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя производительность	0.060	0.083	0.100	0.108	0.110	0.111	0.111	0.111
Произв. узла 1	0.111	0.140	0.168	0.185	0.190	0.193	0.193	0.193
Произв. узла 2	0.031	0.053	0.066	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068
Произв. узла 3	0.038	0.056	0.067	0.071	0.072	0.072	0.072	0.073



Для нахождения узкого места в системе СeМО, нужно определить узел, который ограничивает производительность всей системы, то есть, где возникает максимальная нагрузка. Узкое место — это тот узел, который ограничивает скорость потока заявок через всю систему.

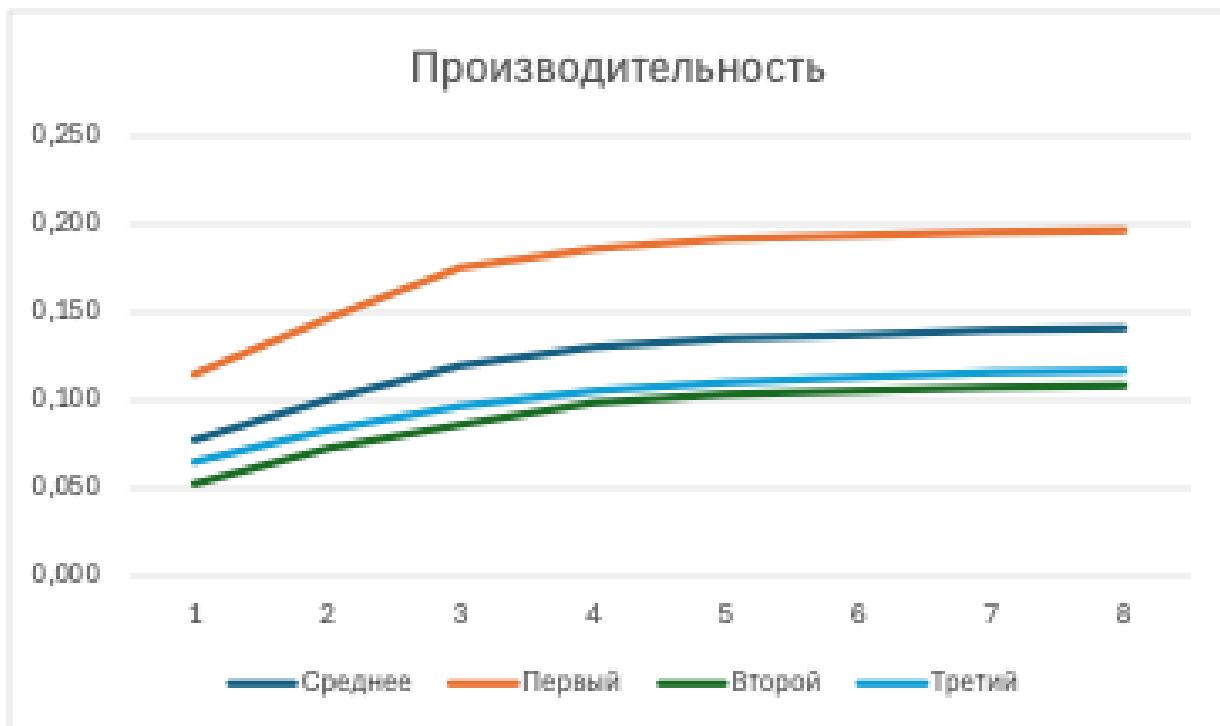
Средняя производительность системы с увеличением числа заявок увеличивается, но начиная с 6 заявок, она стабилизируется на уровне 0.111. Это означает, что при 6 и более заявках система больше не может ускоряться, несмотря на увеличение числа заявок.

Производительность узлов 2 и 3 не может увеличиться, потому что они ограничены более низкой производительностью.

Среднее время ожидания в очереди перед узлом 2 значительно выше, чем перед узлом 3: 133.01 и 1.419 соответственно.

Уменьшим время обслуживания во втором узле с 10 до 5:

Характеристики СeМО	(Критич. число = 6)								
	Число заявок в СeМО								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Средняя производительность	0.077	0.101	0.120	0.130	0.135	0.136	0.137	0.138	
Произв. узла 1	0.115	0.147	0.176	0.186	0.192	0.193	0.193	0.195	
Произв. узла 2	0.052	0.073	0.086	0.099	0.103	0.104	0.105	0.106	
Произв. узла 3	0.065	0.083	0.097	0.105	0.109	0.111	0.112	0.113	



### Листинг программы на GPSS для РСеМО

```

; --- ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ---
A_MEAN1 EQU 1.0 ; Среднее обслуживание для узла 1
A_MEAN2 EQU 10.0 ; Среднее обслуживание для узла 2
A_MEAN3 EQU 4.5 ; Среднее обслуживание для узла 3
; --- ВЕРОЯТНОСТИ ПЕРЕХОДОВ --
P_11 EQU 0.4
P_12 EQU 0.7
P_13 EQU 0.3
M_COUNT EQU 10
SIM_TIME EQU 100000
qq EQU 0.7 ; Вероятность выбора первого потока
tt_1 EQU 15 ; Матожидание первого распределения
tt_2 EQU 15 ; Параметр второго распределения
N_1 STORAGE 1 ; В узле 1 - 1 прибор
N_2 STORAGE 2 ; В узле 2 - 2 прибора
N_3 STORAGE 1 ; В узле 3 - 1 прибор

```

```

Erl_2 VARIABLE (Exponential(7,0,A_MEAN2/2))+(Exponential(8,0,A_MEAN2/2));
сл.величина по закону Эрланга 2-го порядка

productivity EQU 1/0.111 ; Устанавливаем интервал равный производительности

GENERATE (Exponential(1,0,productivity)) ; Используем RNG 1, генерируем
заявки на основе значения интервала производительности.

SERV1 QUEUE queue_1 ; Вход в очередь

ENTER N_1

DEPART queue_1

ADVANCE (Exponential(3,0,A_MEAN1)) ; Используем RNG 3

LEAVE N_1

ASSIGN 1,(Uniform(1,0,1))

TEST G P1,P_11,LOSS

TEST G P1,P_12,SERV2

TRANSFER ,SERV3

SERV2 QUEUE queue_2 ; Вход в очередь

ENTER N_2

DEPART queue_2

ADVANCE (Exponential(4,0,A_MEAN2)) ; Используем RNG 4

LEAVE N_2

TRANSFER ,SERV1

SERV3 QUEUE queue_3

ENTER N_3

DEPART queue_3

ADVANCE (Exponential(5,0,A_MEAN3))

LEAVE N_3

TRANSFER ,SERV1

GENERATE SIM_TIME

TERMINATE 1

```

LOSS TERMINATE 0 ; Определение "потери" – если заявка не проходит через систему, она завершает выполнение с кодом 0

; --- Управление ---

```
START 1
```

```
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;
```

### Обработка результатов имитационного моделирования для РСeМО

Характеристики РСeМО	Закон распределения		
	Экспоненц.	Детерминир.	Эрланг
Средняя производительность	0.111	0.111	0.110
Произв. узла 1	0.206	0.205	0.205
Произв. узла 2	0.059	0.060	0.058
Произв. узла 3	0.068	0.069	0.068

Для всех законов распределения (экспоненциальное, детерминированное, Эрланг) средняя производительность почти одинаковая (0.111, 0.111, 0.110). Это означает, что тип распределения не оказывает значительного влияния на общую производительность системы в данном конкретном случае.

### Характеристики РСeМО при различных интенсивностях

$\lambda$	Производительность	Ср. вр. в системе	Потери
0.05	0.050	28.5	0%
0.10	0.100	32.1	0%
0.136	0.136	45.8	0%
0.15	0.136	68.3	15.3%
0.20	0.136	92.7	36.6%

Система достигает максимальной производительности при интенсивности потока заявок  $\lambda = 0.136$  и не может обработать большее количество заявок, что указывает на предел пропускной способности системы. При увеличении интенсивности потока заявок среднее время пребывания в системе возрастает, что говорит о перегрузке системы при высоких значениях интенсивности потока. Потери заявок начинают увеличиваться при интенсивности потока заявок  $\lambda = 0.15$  и становятся значительными при  $\lambda = 0.20$ . Это

свидетельствует о том, что система не может обработать все поступающие заявки, что приводит к их потере.