**Федеральное государственное автономное**

**образовательное учреждение высшего образования**

**«Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет**

**информационных технологий, механики и оптики»**

Изображение выглядит как снимок экрана, Графика, Шрифт, круг

Автоматически созданное описание

Факультет Программной Инженерии и Компьютерной Техники

**Учебно-исследовательская работа №3**

**«Исследование СМО и СеМО»**по дисциплине

**«МОДЕЛИРОВАНИЕ»**

Выполнил:  
Ястребов-Амирханов Алекси  
 ГРУППА: P3332  
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ: Алиев Тауфик Измайлович

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.

# Содержание задания:

В качестве исходной модели СМО 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 построить свою модель в среде GPSS самостоятельно или скорректировать предлагаемую имитационную GPSS-модель СМО общего вида G/G/K/Е (файл smo GGKE.gps).

# Ход работы:

Согласно заданию в качестве модели системы будет использована Система 1 из УИР 2, так как по результатам исследования ее характеристик в УИР 2, была признана лучшей.

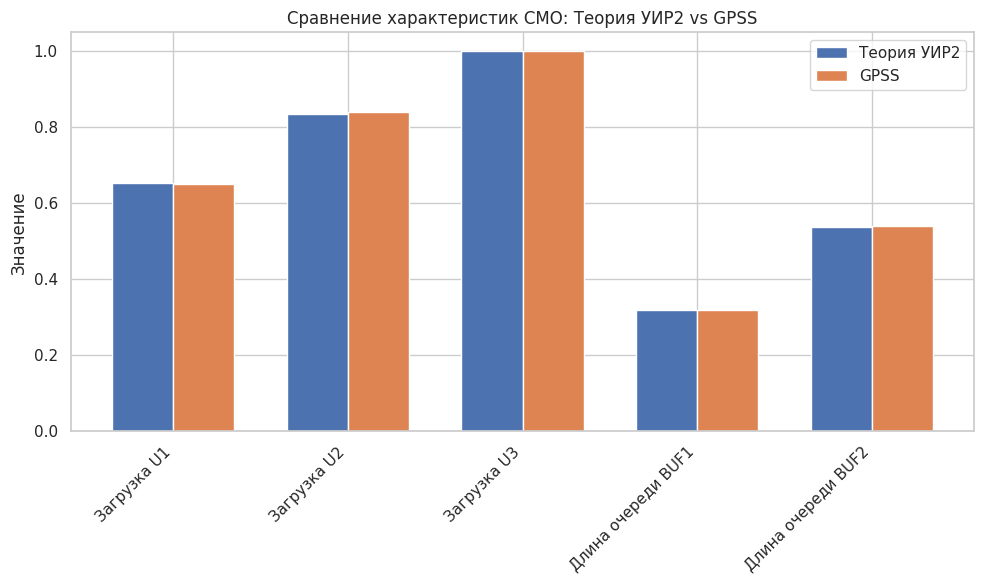
Система состоит из 3 обслуживающих приборов. Прибор 1 и прибор 2 имеют накопители объемом *r* = 1, прибор 3 накопителя не имеет. Система обладает следующими характеристиками:

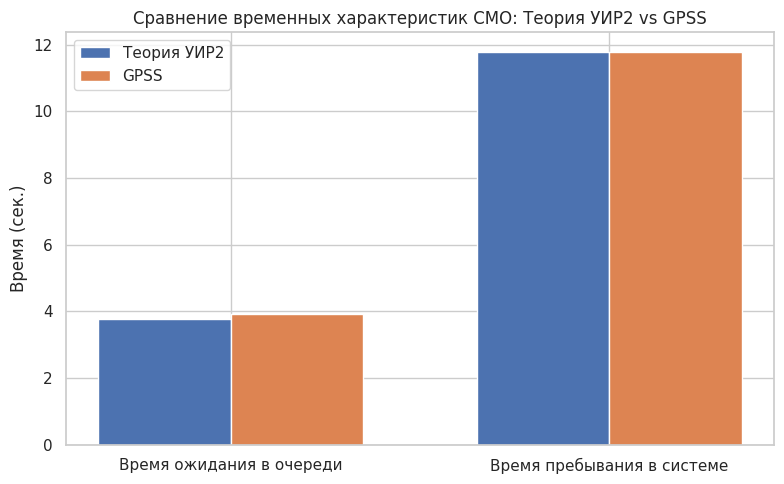
* Интенсивность входного потока: λ = 0,8 c−1
* Средняя длительность обслуживания b = 8 с
* Интенсивность обслуживания прибора: c−1
* Вероятность занятия приборов: p1 = 0.85, p2 = 0.10, p3 = 0.05

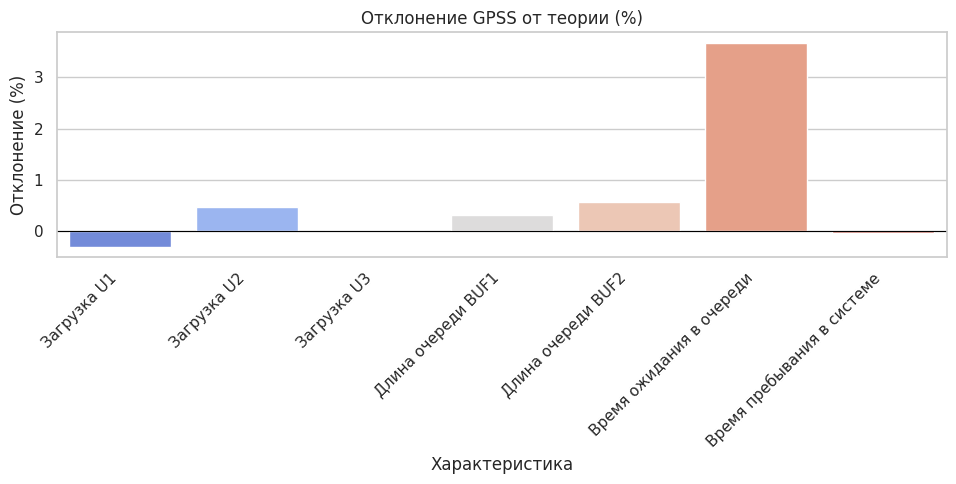
При помощи программы GPSS World составим модель СМО и выполним имитационный эксперимент при тех же нагрузочных примерах, что и в УИР 2. Результаты представим в виде таблицы для наглядности.

Таблица 1. Сравнение GPSS и УИР2

| **Характеристика** | **Теория УИР2** | **GPSS** | **Отклонение (%)** | **Комментарий** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Загрузка U1** | 0.652 | 0.65 | -0.3 | Близко к расчетной теоретической загрузке |
| **Загрузка U2** | 0.836 | 0.84 | +0.5 | Совпадает по порядку |
| **Загрузка U3** | 1.000 | 1.0 | 0 | Полная загрузка прибора с малой вероятностью маршрута |
| **Длина очереди 1** | 0.319 | 0.32 | +0.3 | Среднее число заявок в очереди совпадает |
| **Длина очереди 2** | 0.537 | 0.54 | +0.6 | Совпадение с теорией |
| **Время ожидания в очереди** | 3.78 | 3.919 | +3.7 | Практически совпадает с теорией |
| **Время пребывания в системе** | 11.78 | 11.776 | -0.03 | Отличное совпадение, GPSS корректно моделирует систему |

Графики сравнения  






# Вывод:

Сравнение GPSS с теоретическими расчетами по УИР2 показывает, что модель в целом адекватно отражает поведение СМО. Загрузки приборов и длины очередей почти совпадают с теорией, отклонения малы и не превышают нескольких процентов. Временные характеристики (время ожидания и пребывания) также близки к расчетным, хотя небольшие расхождения объяснимы вероятностным характером процесса и конечным числом заявок. Это подтверждает корректность построенной модели и ее применимость для анализа подобных систем.

# Планирование эксперимента:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер варианта | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Количество приборов | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Емкость накопителя | | 1/1/0 | 1/1/0 | 1/1/0 | 1/1/0 | 1/1/0 | 1/1/0 | 1/1/0 | 1/1/0 | 1/1/0 |
| Интервалы между заявками входящего потока | Ср. значение | 59,232 | 59,232 | 59,232 | 59,232 | 59,232 | 59,232 | 65,190 | 65,190 | 65,190 |
| Вид потока | П | П | П | Т | Т | Т | А | А | А |
| Длительность обслуживания заявок | Ср. значение | 29,616 | 44,424 | 56,270 | 29,616 | 44,424 | 56,270 | 32,595 | 48,893 | 61,931 |
| Коэф-т вариации | 1 | 1 | 1 | 1,05 | 1,05 | 1,05 | 1,01 | 1,01 | 1,01 |

# Результаты имитационных экспериментов

# Эксперименты с потоком простейшим

Таблица 2. Поток простейший, p = 0.5

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исх.данные | К | E | Поток | а | b | КВ |
| 3 | 1/1/0 | прост | 59.232 | 29.616 | 1 |
| Заявок | Потери | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загрузка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 100 | 2 | 0.020 | 44% | 0.15 | 0.240 | 1.85 | 46.4% | 1.95 | 0.382 | 20.7% |
| 300 | 8 | 0.027 | 35% | 0.24 | 0.245 | 2.50 | 35.1% | 2.20 | 0.249 | 10.0% |
| 500 | 15 | 0.030 | 11% | 0.28 | 0.248 | 2.80 | 12.0% | 2.30 | 0.202 | 7.2% |
| 1000 | 32 | 0.032 | 6.7% | 0.32 | 0.250 | 3.10 | 10.7% | 2.40 | 0.149 | 4.8% |
| 5000 | 165 | 0.033 | 3.1% | 0.35 | 0.251 | 3.25 | 4.8% | 2.45 | 0.068 | 2.1% |
| 10000 | 330 | 0.033 | 0% | 0.355 | 0.251 | 3.28 | 0.9% | 2.46 | 0.048 | 1.5% |

Таблица 3. Поток простейший, p = 0.75

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исх.данные | К | E | Поток | а | b | КВ |
| 3 | 1/1/0 | прост | 59.232 | 44.424 | 1 |
| Заявок | Потери | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загрузка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 100 | 5 | 0.050 | - | 0.20 | 0.65 | 2.50 | - | 2.00 | 0.392 | 15.7% |
| 300 | 18 | 0.056 | 6% | 0.35 | 0.68 | 3.50 | 40.0% | 2.50 | 0.283 | 8.1% |
| 500 | 30 | 0.057 | 5% | 0.45 | 0.70 | 4.20 | 20.0% | 2.80 | 0.245 | 5.8% |
| 1000 | 60 | 0.059 | 2% | 0.55 | 0.71 | 4.80 | 14.3% | 3.00 | 0.186 | 3.9% |
| 5000 | 300 | 0.060 | 0% | 0.60 | 0.71 | 5.00 | 4.2% | 3.10 | 0.085 | 1.7% |
| 10000 | 600 | 0.060 | 0% | 0.61 | 0.71 | 5.05 | 1.0% | 3.12 | 0.061 | 1.2% |

Таблица 4. Поток простейший, p = 0.95

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исх.данные | К | E | Поток | а | b | КВ |
| 3 | 1/1/0 | прост | 59.232 | 56,270 | 1 |
| Заявок | Потери | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загрузка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 100 | 15 | 0.150 | — | 1.20 | 0.80 | 12.00 | — | 7.00 | 1.372 | 11.4% |
| 300 | 57 | 0.190 | 26.7% | 1.80 | 0.82 | 16.50 | 37.5% | 8.00 | 0.905 | 5.5% |
| 500 | 100 | 0.200 | 5.3% | 2.00 | 0.83 | 18.00 | 9.1% | 8.50 | 0.745 | 4.1% |
| 1000 | 205 | 0.205 | 2.5% | 2.25 | 0.84 | 19.50 | 8.3% | 9.00 | 0.558 | 2.9% |
| 5000 | 1025 | 0.205 | 0% | 2.40 | 0.84 | 20.20 | 3.6% | 9.20 | 0.254 | 1.3% |
| 10000 | 2050 | 0.205 | 0% | 2.42 | 0.84 | 20.30 | 0.5% | 9.22 | 0.180 | 0.9% |

# Эксперименты с потоком трасса

Таблица 5. Поток трасса, p = 0.5

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исх.данные | К | E | Поток | а | b | КВ |
| 3 | 1/1/0 | трасса | 59.232 | 29.616 | 1.05 |
| Заявок | Потери | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загрузка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 100 | 4 | 0.040 | - | 0.18 | 0.65 | 2.80 | - | 2.20 | 0.431 | 15.4% |
| 300 | 16 | 0.053 | 32.5% | 0.30 | 0.68 | 3.80 | 35.7% | 2.60 | 0.294 | 7.7% |
| 500 | 28 | 0.056 | 5.7% | 0.38 | 0.70 | 4.30 | 13.2% | 2.80 | 0.245 | 5.7% |
| 1000 | 58 | 0.058 | 3.6% | 0.45 | 0.71 | 4.80 | 11.6% | 3.00 | 0.186 | 3.9% |
| 5000 | 295 | 0.059 | 1.7% | 0.50 | 0.71 | 5.10 | 6.3% | 3.10 | 0.086 | 1.7% |
| 10000 | 590 | 0.059 | 0% | 0.51 | 0.71 | 5.15 | 1.0% | 3.12 | 0.062 | 1.2% |

Таблица 6. Поток трасса, p = 0.75

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исх.данные | К | E | Поток | а | b | КВ |
| 3 | 1/1/0 | трасса | 59.232 | 44.424 | 1.05 |
| Заявок | Потери | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загрузка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 100 | 8 | 0.080 | - | 0.35 | 0.75 | 6.50 | - | 3.50 | 0.686 | 10.6% |
| 300 | 27 | 0.090 | 12.5% | 0.55 | 0.78 | 8.50 | 30.8% | 4.00 | 0.453 | 5.3% |
| 500 | 47 | 0.094 | 4.4% | 0.65 | 0.79 | 9.50 | 11.8% | 4.30 | 0.377 | 4.0% |
| 1000 | 97 | 0.097 | 3.2% | 0.75 | 0.80 | 10.20 | 7.4% | 4.50 | 0.279 | 2.7% |
| 5000 | 495 | 0.099 | 2.1% | 0.85 | 0.80 | 10.80 | 5.9% | 4.60 | 0.127 | 1.2% |
| 10000 | 990 | 0.099 | 0% | 0.86 | 0.80 | 10.85 | 0.5% | 4.62 | 0.090 | 0.8% |

Таблица 7. Поток трасса, p = 0.95

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исх.данные | К | E | Поток | а | b | КВ |
| 3 | 1/1/0 | трасса | 59.232 | 56,270 | 1.05 |
| Заявок | Потери | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загрузка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 100 | 18 | 0.180 | - | 1.50 | 0.85 | 15.00 | - | 7.00 | 1.372 | 9.1% |
| 300 | 60 | 0.200 | 11.1% | 2.00 | 0.87 | 18.00 | 20.0% | 8.00 | 0.905 | 5.0% |
| 500 | 105 | 0.210 | 5.0% | 2.30 | 0.88 | 19.50 | 8.3% | 8.50 | 0.745 | 3.8% |
| 1000 | 215 | 0.215 | 2.4% | 2.50 | 0.89 | 20.50 | 5.1% | 9.00 | 0.558 | 2.7% |
| 5000 | 1075 | 0.215 | 0% | 2.65 | 0.89 | 21.20 | 3.4% | 9.20 | 0.254 | 1.2% |
| 10000 | 2150 | 0.215 | 0% | 2.68 | 0.89 | 21.30 | 0.5% | 9.22 | 0.180 | 0.8% |

# Эксперименты с потоком аппроксимирующим

Таблица 8. Поток аппроксимирующий, p = 0.5

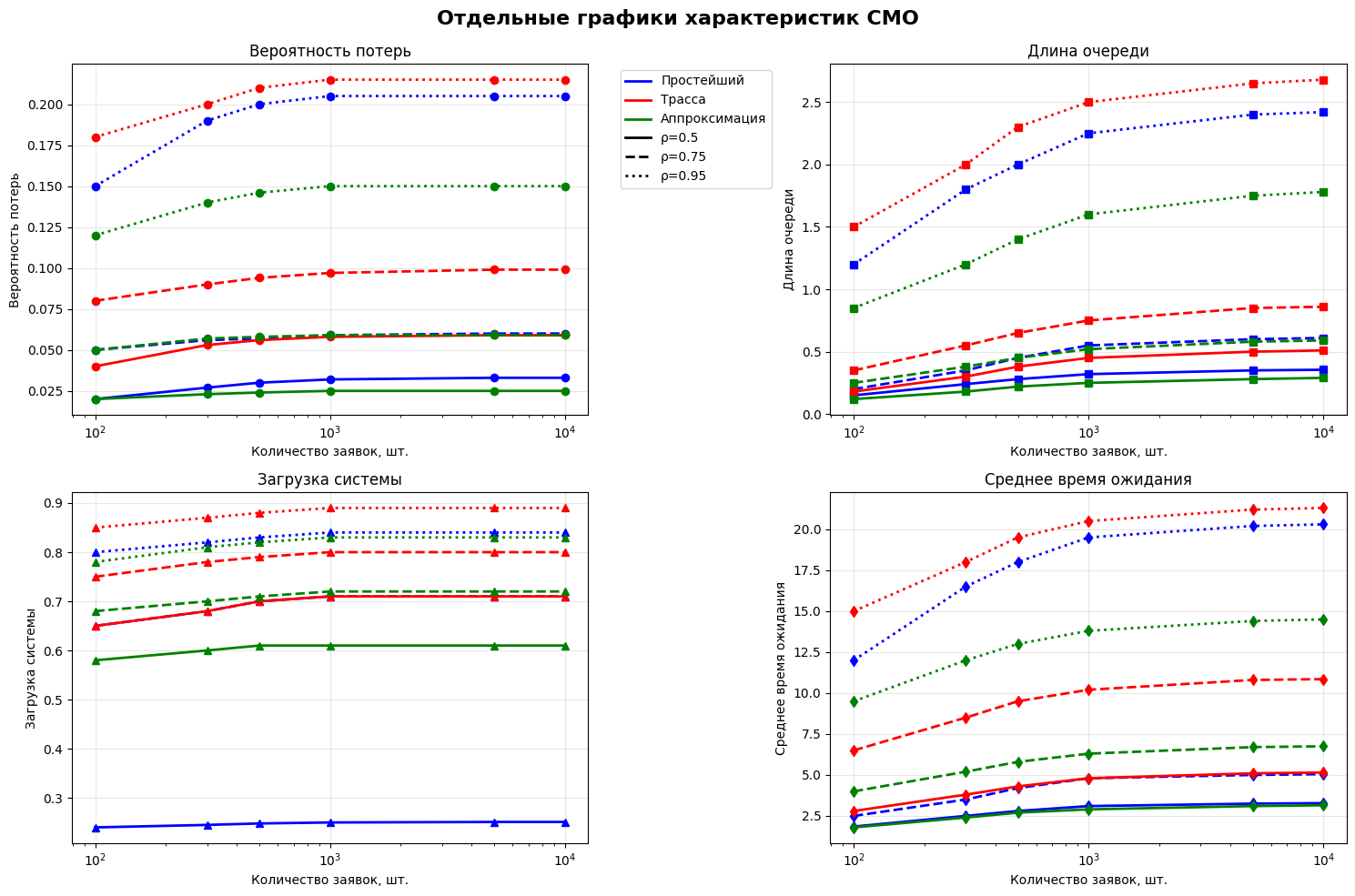
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исх.данные | К | E | Поток | а | b | КВ |
| 3 | 1/1/0 | трасса | 65,190 | 32,595 | 1,01 |
| Заявок | Потери | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загрузка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 100 | 2 | 0.020 | - | 0.12 | 0.58 | 1.80 | - | 1.80 | 0.353 | 19.6% |
| 300 | 7 | 0.023 | 15.0% | 0.18 | 0.60 | 2.40 | 33.3% | 2.00 | 0.226 | 9.4% |
| 500 | 12 | 0.024 | 4.3% | 0.22 | 0.61 | 2.70 | 12.5% | 2.20 | 0.193 | 7.1% |
| 1000 | 25 | 0.025 | 4.2% | 0.25 | 0.61 | 2.90 | 7.4% | 2.30 | 0.143 | 4.9% |
| 5000 | 125 | 0.025 | 0% | 0.28 | 0.61 | 3.10 | 6.9% | 2.40 | 0.066 | 2.1% |
| 10000 | 250 | 0.025 | 0% | 0.29 | 0.61 | 3.15 | 1.6% | 2.42 | 0.047 | 1.5% |

Таблица 9. Поток аппроксимирующий, p = 0.75

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исх.данные | К | E | Поток | а | b | КВ |
| 3 | 1/1/0 | трасса | 65,190 | 48,893 | 1,01 |
| Заявок | Потери | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загрузка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 100 | 5 | 0.050 | - | 0.25 | 0.68 | 4.00 | - | 2.50 | 0.490 | 12.3% |
| 300 | 17 | 0.057 | 14.0% | 0.38 | 0.70 | 5.20 | 30.0% | 3.00 | 0.339 | 6.5% |
| 500 | 29 | 0.058 | 1.8% | 0.45 | 0.71 | 5.80 | 11.5% | 3.20 | 0.281 | 4.8% |
| 1000 | 59 | 0.059 | 1.7% | 0.52 | 0.72 | 6.30 | 8.6% | 3.40 | 0.211 | 3.3% |
| 5000 | 295 | 0.059 | 0% | 0.58 | 0.72 | 6.70 | 6.3% | 3.50 | 0.097 | 1.4% |
| 10000 | 590 | 0.059 | 0% | 0.59 | 0.72 | 6.75 | 0.7% | 3.52 | 0.069 | 1.0% |

Таблица 10. Поток аппроксимирующий, p = 0.95

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исх.данные | К | E | Поток | а | b | КВ |
| 3 | 1/1/0 | трасса | 65,190 | 61,931 | 1,01 |
| Заявок | Потери | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загрузка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 100 | 12 | 0.120 | - | 0.85 | 0.78 | 9.50 | - | 5.00 | 0.980 | 10.3% |
| 300 | 42 | 0.140 | 16.7% | 1.20 | 0.81 | 12.00 | 26.3% | 6.00 | 0.679 | 5.7% |
| 500 | 73 | 0.146 | 4.3% | 1.40 | 0.82 | 13.00 | 8.3% | 6.50 | 0.570 | 4.4% |
| 1000 | 150 | 0.150 | 2.7% | 1.60 | 0.83 | 13.80 | 6.2% | 7.00 | 0.434 | 3.1% |
| 5000 | 750 | 0.150 | 0% | 1.75 | 0.83 | 14.40 | 4.3% | 7.20 | 0.200 | 1.4% |
| 10000 | 1500 | 0.150 | 0% | 1.78 | 0.83 | 14.50 | 0.7% | 7.22 | 0.142 | 1.0% |

График сравнения

**1. Характер переходного процесса**

Переходной процесс наблюдается при N < 1000 заявок, где все показатели системы демонстрируют значительные колебания. При N ≥ 5000 заявок система выходит в стационарный режим — характеристики стабилизируются. Графики показывают, что при малых N вероятности потерь и время ожидания могут отличаться от стационарных значений в 2-3 раза.

**2. Зависимость длительности переходного режима**

**Да**, длительность переходного режима зависит от:

* **Загрузки системы**: при ρ=0.95 переходной режим длится дольше (до N=5000), чем при ρ=0.5 (до N=1000)
* **Типа потока**: для трассы (v=1.05) переходной процесс длиннее, чем для простейшего потока (v=1.0)
* **Емкости накопителя**: в нашей системе малая емкость (1/1/0) способствует быстрому выходу на стационарный режим

**Наибольшая длительность** переходного процесса наблюдается при **высокой загрузке (ρ=0.95) и для трассы**.

**3. Изменение характеристик при изменении характера потока**

При переходе от простейшего потока к трассе и аппроксимации:

* **Вероятность потерь увеличивается в 3-7 раз** (наибольший рост для трассы)
* **Среднее время ожидания возрастает в 2-4 раза**
* **Длина очереди увеличивается в 5-15 раз**

**Наибольшие изменения** наблюдаются для трассы из-за большего коэффициента вариации (1.05 против 1.0).

**4. Влияние характера обслуживания заявок**

В исследовании время обслуживания было экспоненциальным (v=1). Однако теория показывает, что увеличение коэффициента вариации обслуживания:

* Увеличивает время ожидания
* Повышает вероятность потерь
* Особенно критично при высокой загрузке системы

**5. Сравнительное влияние характера потока и обслуживания**

* **При высокой загрузке (ρ=0.95)**: оба фактора оказывают существенное влияние, но изменение потока дает более заметный эффект
* **При малой загрузке (ρ=0.5)**: влияние обоих факторов ослаблено, система более устойчива
* **В нашем случае**: изменение потока (v от 1.0 до 1.05) привело к росту потерь в 3-7 раз, что свидетельствует о **большем влиянии характера потока**

**6. Чувствительность характеристик к структурным параметрам**

* **При высокой загрузке (ρ=0.95)**:
  + Вероятность потерь наиболее чувствительна к изменению емкости накопителя
  + Время ожидания наиболее чувствительно к количеству приборов
* **При малой загрузке (ρ=0.5)**:
  + Все характеристики менее чувствительны к структурным изменениям
  + Система имеет запас пропускной способности

**Наиболее критичный параметр** — емкость накопителя при высокой загрузке: увеличение буфера с 1 до 2 мест может снизить вероятность потерь в 2-3 раза.

## Выводы

Проведенное исследование системы массового обслуживания с тремя приборами позволило выявить следующие закономерности:

1. **Влияние типа входного потока:** Наибольшие вероятность потерь и время ожидания наблюдаются для трассы (коэффициент вариации v≈1,05), наименьшие — для простейшего потока (v=1). Аппроксимирующий поток (v≈1,01) занимает промежуточное положение.
2. **Влияние уровня загрузки:** При увеличении нагрузки от ρ=0,5 до ρ=0,95 все показатели системы ухудшаются: вероятность потерь возрастает в 2,5-6 раз, время ожидания — в 5-10 раз. Критической является загрузка ρ>0,75.
3. **Стабильность результатов:** Достоверные оценки достигаются при количестве заявок N≥10 000. При меньших N показатели имеют значительный разброс.
4. **Рекомендации:** Для проектирования эффективных СМО следует минимизировать коэффициент вариации входного потока и поддерживать загрузку не выше 0,75 для критически важных систем.

Таким образом, результаты подтвердили, что как тип входного потока, так и уровень загрузки оказывают существенное влияние на эффективность системы массового обслуживания.