Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет

информационных технологий, механики и оптики

Кафедра информатики и прикладной математики

**Курсовая работа**

**Дисциплина «Моделирование»**

**Вариант 19**

**Исследование сетей массового обслуживания**

**Выполнил:**

Съестов Дмитрий

Группа P3317

**Преподаватель:**

Муравьёва-Витковская Людмила Александровна

Санкт-Петербург

2019

**1. Постановка задачи:**

Проведение комплексного исследования характеристик функционирования замкнутых и разомкнутых сетей массового обслуживания (СеМО) с однородным потоком заявок с использованием аналитического, численного и имитационного методов моделирования и изучение свойств и закономерностей, присущих процессам, протекающим в них.

**2. Исходные данные:**

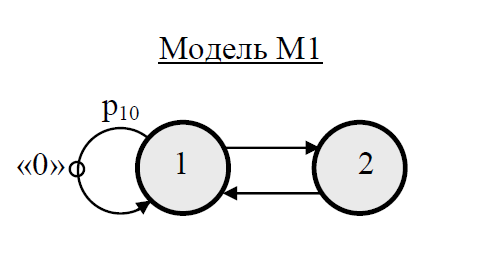
*Структурные параметры и количество заявок в ЗСеМО*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| К-во узлов n | Кол-во приборов в узлах | | К-во заявок М | Номер узла | Тип модели | К-во Состояний |
| У1 | У2 |
| 2 | 4 | 1 | 9 | 2 | М1 | 10 |

Для неэкспоненциальной модели СеМО распределение длительности обслуживания в 2 узле заменяется на **распределение Эрланга 2 порядка**.

*Вероятности передач и ср. длительности обслуживания заявок в ЗСеМО*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вероятности передач | | Средние длительности обслуживания, с | |
| p10 | p12 | b1 | b2 |
| 0,1 | 0,9 | 0,4 | 0,5 |



**3. Разработка моделей и проведение над ними экспериментов**

3.1.Разработка аналитических моделей замкнутой СеМО (ЗСеМО) и разомкнутой СеМО (РСеМО)

Разработка аналитических моделей ЗСеМО и РСеМО заключается в подготовке

следующих исходных данных (параметров) для проведения расчетов аналитическими методами:

1) количество узлов СеМО: **N = 2**

2) количество обслуживающих приборов в узлах СеМО: **К1 = 4, К2 = 1**

3) матрица вероятностей передач и рассчитанные по ней коэффициенты передач:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **0** | **1** | **2** |
| **0** | 0 | 1 | 0 |
| **1** | 0.1 | 0 | 0.9 |
| **2** | 0 | 1 | 0 |

🡪 **a0 = 1, a1 = 10, a2 = 9**

4) Для замкнутой СеМО - число заявок, циркулирующих в сети: **М = 9**

Для разомкнутой СеМО - интенсивность входящего потока заявок, поступающих в сеть (определяется после расчета характеристик замкнутой СеМО и принимается равной производительности ЗСеМО):  **0.222**

5) средние длительности обслуживания заявок в узлах СеМО: **b1 = 0.4, b2 = 0.5**

*Результаты аналитического моделирования*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристики СеМО | Замкнутая СеМО | | | Разомкнутая СеМО | | |
| Узел 1 | Узел 2 | Сеть | Узел 1 | Узел 2 | Сеть |
| Загрузка | 0.22 | 0.99 | 1.21 | 0.22 | 0.99 | 1.21 |
| Длина очереди | 0.004 | 7.107 | 7.111 | 0.004 | 990.014 | 998.018 |
| Число заявок | 0.893 | 8.107 | 9 | 0.892 | 999.013 | 999.905 |
| Время ожидания | 0.002 | 3.554 | 32 | 0.002 | 499.506 | 4495.576 |
| Время пребывания | 0.402 | 4.054 | 40.5 | 0.402 | 500.006 | 4504.076 |
| Производительность | - | | 0.222 | - | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристики СеМО | Замкнутая СеМО  **Критическое число заявок – 3** | | | | | | | | | |
| Число заявок | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Время ожидания | 0 | 2.382 | 5.692 | 9.695 | 14.054 | 18.514 | 23.004 | 27.501 | 32 | 36.5 |
| Время пребывания | 8.5 | 10.882 | 14.192 | 18.195 | 22.554 | 27.014 | 31.504 | 36.001 | 40.5 | 45 |
| Длина очереди | 0 | 0.438 | 1.203 | 2.131 | 3.116 | 4.112 | 5.111 | 6.111 | 7.111 | 8.111 |
| Производительность | 0.118 | 0.184 | 0.211 | 0.22 | 0.222 | 0.222 | 0.222 | 0.222 | 0.222 | 0.222 |

Определим критическое число заявок, начиная с которого производительность ЗСеМО не изменяется (прирост производительности не превосходит 1-5%). Также определим предельную интенсивность поступления заявок в РСеМО, при которой в сети существует стационарный режим.

*Графики зависимости характеристик ЗСеМО от числа заявок*

Узким местом является узел 2, загрузка которого максимальна. Для его устранения уменьшаем время обслуживания заявок с 0.5 до 0.1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристики СеМО | Замкнутая СеМО | | | | | | | | | |
| Число заявок | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Время ожидания | 0 | 0.165 | 0.379 | 0.654 | 1.359 | 2.186 | 3.066 | 3.973 | 4.897 | 5.832 |
| Время пребывания | 4.9 | 5.065 | 5.279 | 5.554 | 6.259 | 7.086 | 7.966 | 8.873 | 9.797 | 10.732 |
| Длина очереди | 0 | 0.065 | 0.215 | 0.471 | 1.086 | 1.851 | 2.694 | 3.582 | 4.499 | 5.434 |
| Производительность | 0.204 | 0.395 | 0.568 | 0.72 | 0.799 | 0.847 | 0.879 | 0.902 | 0.919 | 0.932 |

*Сравнение характеристик СеМо до и после устранения узкого места*

Разомкнутая СеМО

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристики СеМО | Разомкнутая СеМО  **Предельная интенсивность – 0.222** | | | | | |
| Интенсивность поступления заявок | 0.05 | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.22 | 0.223 |
| Время ожидания | 1.307 | 3.683 | 9.35 | 40.512 | 445.517 | ∞ |
| Время пребывания | 9.807 | 12.183 | 17.85 | 49.012 | 454.017 | ∞ |
| Длина очереди | 0.065 | 0.368 | 1.403 | 8.102 | 90.014 | ∞ |
| Кол-во заявок | 0.49 | 1.218 | 2.678 | 9.802 | 99.884 | ∞ |

*Графики зависимости характеристик РСеМО от интенсивности потока заявок*

**Разработка марковских моделей ЗСеМО**

Экспоненциальная ЗСеМО

1) Перечень состояний марковского процесса

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Состояние | E0 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 |
| (К1, К2) | (9, 0) | (8, 1) | (7, 2) | (6, 3) | (5, 4) | (4, 5) | (3, 6) | (2, 7) | (1, 8) | (0, 9) |

2) Размеченный граф переходов: *см. приложение*

3) Матрица интенсивностей переходов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **0** | -4μ1p12 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **1** | μ2 | -4μ1p12 - μ2 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2** | 0 | μ2 | -4μ1p12 - μ2 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **3** | 0 | 0 | μ2 | -4μ1p12 - μ2 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **4** | 0 | 0 | 0 | μ2 | -4μ1p12 - μ2 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **5** | 0 | 0 | 0 | 0 | μ2 | -4μ1p12 - μ2 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 |
| **6** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | μ2 | -3μ1p12 - μ2 | 3μ1p12 | 0 | 0 |
| **7** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | μ2 | -2μ1p12 - μ2 | 2μ1p12 | 0 |
| **8** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | μ2 | -μ1p12 - μ2 | μ1p12 |
| **9** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | μ2 | -μ2 |

4) Стационарные вероятности событий

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Состояние | E0 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 | E8 | E9 |
| Вероятность | 0 | 0 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0024 | 0.0107 | 0.0481 | 0.1623 | 0.3651 | 0.4108 |

5) Расчет характеристик

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Характеристика** | **Прибор** | **Расчетная формула** | **Результат** |
| Загрузка | Уз.1 | ρ1 = p0+…+p5 + 3/4\*p6 + 2/4\*p7 + 1/4\*p8 | 0,2222 |
| Уз. 2 | ρ2 = p1+…+p9 | 1 |
| Сеть | R = ρ1+ρ2 | 1,2222 |
| Длина очереди | Уз.1 | l1 = 5\*p0 + 4\*p1 + 3\*p2 + 2\*p3 + p4 | 0,0037 |
| Уз. 2 | l2 = 8\*p9 + 7\*p8 + 6\*p7 \* 5\*p6 + 4\*p5 + 3\*p4 + 2\*p3 + p2 | 7,1075 |
| Сеть | L = l1+l2 | 7,1112 |
| Число заявок | Уз.1 | m1 = 9\*p0 + 8\*p1 + … + 2\*p7 + p8 | 0,8925 |
| Уз. 2 | m2 = ρ2+l2 | 8,1075 |
| Сеть | M = m1+m2 | 9 |
| Время ожидания | Уз.1 | w1 = l1/λ1 | 0,0017 |
| Уз. 2 | w2 = l2/λ2 | 3,5538 |
| Сеть | w = a1w1+ a2w2 | 32,0004 |
| Время пребывания | Уз.1 | u1 = m1/λ1 | 0,4016 |
| Уз. 2 | u2 = m2/λ2 | 4,0538 |
| Сеть | U = a1u1+ a2u2 | 40,5 |
| Производительность | Уз.1 | λ1 = a1λ0 | 2,2222 |
| Уз. 2 | λ2 = a2λ0 | 2 |
| Сеть | λ0 = ρ2/(a2\*b2) | 0,2222 |

Неэкспоненциальная (эрланговская) ЗСеМО

1) Перечень состояний марковского процесса

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Состояние | E0 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 |
| (К1, К2) | (9, 0) | (8, 11) | (8, 12) | (7, 21) | (7, 22) | (6, 31) | (6, 32) |
| Состояние | E7 | E8 | E9 | E10 | E11 | E12 | E13 |
| (К1, К2) | (5, 41) | (5, 42) | (4, 51) | (4, 52) | (3, 61) | (3, 62) | (2, 71) |
| Состояние | Е14 | Е15 | Е16 | Е17 | Е18 |
| (К1, К2) | (2, 72) | (1, 81) | (1, 82) | (0, 91) | (0, 9­2) |

2) Размеченный граф переходов: *см. приложение*

3) Матрица интенсивностей переходов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** |
| **0** | -4μ1p12 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **1** | 0 | -μ'2 -4μ1p12 | μ'2 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **2** | μ'2 | 0 | -μ'2 -4μ1p12 | 0 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **3** | 0 | 0 | 0 | -μ'2 -4μ1p12 | μ'2 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **4** | 0 | μ'2 | 0 | 0 | -μ'2 -4μ1p12 | 0 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **5** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -μ'2 -4μ1p12 | μ'2 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **6** | 0 | 0 | 0 | μ'2 | 0 | 0 | -μ'2 -4μ1p12 | 0 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **7** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -μ'2 -4μ1p12 | μ'2 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **8** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | μ'2 | 0 | 0 | -μ'2 -4μ1p12 | 0 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **9** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -μ'2 -4μ1p12 | μ'2 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **10** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | μ'2 | 0 | 0 | -μ'2 -4μ1p12 | 0 | 4μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **11** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -μ'2 -3μ1p12 | μ'2 | 3μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **12** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | μ'2 | 0 | 0 | -μ'2 -3μ1p12 | 0 | 3μ1p12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **13** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -μ'2 -2μ1p12 | μ'2 | 2μ1p12 | 0 | 0 | 0 |
| **14** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | μ'2 | 0 | 0 | -μ'2 -2μ1p12 | 0 | 2μ1p12 | 0 | 0 |
| **15** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -μ'2 - μ1p12 | μ'2 | μ1p12 | 0 |
| **16** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | μ'2 | 0 | 0 | -μ'2 - μ1p12 | 0 | μ1p12 |
| **17** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -μ'2 | μ'2 |
| **18** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | μ'2 | 0 | 0 | -μ'2 |

4) Стационарные вероятности состояний

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Состояние | E0 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 |
| Вероятность | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Состояние | E7 | E8 | E9 | E10 | E11 | E12 | E13 |
| Вероятность | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0001 | 0 | 0.0032 |
| Состояние | E14 | E15 | E16 | E17 | Е18 |
| Вероятность | 0.0006 | 0.0903 | 0.0169 | 0.4064 | 0.4825 |

5) Расчет характеристик

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Характеристика** | **Прибор** | **Расчетная формула** | **Результат** |
| Загрузка | Уз.1 | ρ1 = p0+…+p10 + 3/4\*(p11+p12) + 2/4\*(p13+p14) + 1/4(p15+p16) | 0,0288 |
| Уз. 2 | ρ2 = p1+…+p18 | 1 |
| Сеть | R = ρ1+ρ2 | 1,0288 |
| Длина очереди | Уз.1 | l1 = 5\*p0 + 4\*(p1+p2) + 3\*(p3+p4) + 2\*(p5+p6) + p7+p8 | 0 |
| Уз. 2 | l2 = 8\*(p18+p17) + 7\*(p16+p15) + 6\*(p14+p13) + 5\*(p12+p11) + 4\*(p10+p9) + 3\*(p8+p7) + 2\*(p6+p5) + p4+p3 | 7,8849 |
| Сеть | L = l1 + l2 | 7,8849 |
| Число заявок | Уз.1 | m1 = 9\*p0 + 8\*(p1+p2) + 7\*(p3+p4) + 6\*(p5+p6) + 5\*(p7+p8) + 4\*(p9+p10) + 3\*(p11+p12) + 2\*(p13+p14) + p15+p16 | 0,1151 |
| Уз. 2 | m2 = ρ2+l2 | 8,8849 |
| Сеть | M = m1+m2 | 9 |
| Время ожидания | Уз.1 | w1 = l1/λ1 | 0 |
| Уз. 2 | w2 = l2/λ2 | 3,9425 |
| Сеть | w = a1w1+ a2w2 | 35,4821 |
| Время пребывания | Уз.1 | u1 = m1/λ1 | 0,0518 |
| Уз. 2 | u2 = m2/λ2 | 4,4425 |
| Сеть | U = a1u1+ a2u2 | 40,5 |
| Производительность | Уз.1 | λ1 = a1λ0 | 2,2222 |
| Уз. 2 | λ2 = a2λ0 | 2 |
| Сеть | λ0 = ρ2/(a2\*b2) | 0,2222 |

*Сравнительная таблица экспоненциальной и неэкспоненциальной ЗСеМО*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристики СеМО | Экспоненциальная СеМО | | | Неэкспоненциальная СеМО | | |
| У1 | У2 | Сеть | У1 | У2 | Сеть |
| Загрузка | 0,2222 | 1 | 1,2222 | 0,0228 | 1 | 1,0228 |
| Длина очереди | 0,0037 | 7,1075 | 7,1112 | 0 | 7,8849 | 7,8849 |
| Число заявок | 0,8925 | 8,1075 | 9 | 0,1151 | 8,8849 | 9 |
| Время ожидания | 0,0017 | 3,5538 | 32,0004 | 0 | 3,9425 | 35,4821 |
| Время пребывания | 0,4016 | 4,0538 | 40,5 | 0,0518 | 4,4425 | 40,5 |
| Производительность | 2,2222 | 2 | 0,2222 | 2,2222 | 2 | 0,2222 |

Для эрланговской ЗСеМО загрузка сети повысилась, но понизились средняя длина очереди и время ожидания. Это связано с тем, что характеристики распределения Эрланга близки к детерминированному распределению. Детерминированное значение интервала между заявками снижает вероятность появления очередей, поэтому уменьшается и время ожидания.

*Сравнительная таблица для численного и аналитического моделирования*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристики СеМО | Численное моделирование | | | Аналитическое моделирование | | |
| У1 | У2 | Сеть | У1 | У2 | Сеть |
| Загрузка | 0,2222 | 1 | 1,2222 | 0.22 | 0.99 | 1.21 |
| Длина очереди | 0,0037 | 7,1075 | 7,1112 | 0.004 | 7.107 | 7.111 |
| Число заявок | 0,8925 | 8,1075 | 9 | 0.893 | 8.107 | 9 |
| Время ожидания | 0,0017 | 3,5538 | 32,0004 | 0.002 | 3.554 | 32 |
| Время пребывания | 0,4016 | 4,0538 | 40,5 | 0.402 | 4.054 | 40.5 |
| Производительность | 2,2222 | 2 | 0,2222 | - | | 0.222 |

При расчёте СеМО численным методом происходит замена сложных математических формул и отношений более простыми, вследствие чего появляется погрешность.

**Разработка имитационных моделей РСеМО**

РСеМО1

Uz\_1 STORAGE 4 ; число приборов в узле 1

Tw\_1 QTABLE Q\_1,0,1,20 ; время ожидания в узле 1

Tw\_2 QTABLE Q\_2,50,50,20 ; время ожидания в узле 2

TU TABLE M1,150,150,20 ; время пребывания в сети

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

GENERATE (Exponential(175,0,4.5))

QUEUE Q\_TOTAL

St\_1 QUEUE Q\_1

ENTER Uz\_1

DEPART Q\_1

ADVANCE (Exponential(175,0,0.4))

LEAVE Uz\_1

TRANSFER .9,,St\_2 ; передача транзакта с вероятностью 0,9 в узел 2

TABULATE TU

DEPART Q\_TOTAL

TERMINATE 1

St\_2 QUEUE Q\_2

SEIZE Uz\_2

DEPART Q\_2

ADVANCE (Exponential(175,0,0.5))

RELEASE Uz\_2

TRANSFER ,St\_1

РСеМО2

Uz\_1 STORAGE 4 ; число приборов в узле 1

Tw\_1 QTABLE Q\_1,0,1,20 ; время ожидания в узле 1

Tw\_2 QTABLE Q\_2,50,50,20 ; время ожидания в узле 2

TU TABLE M1,150,150,20 ; время пребывания в сети

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

GENERATE 4.5

QUEUE Q\_TOTAL

St\_1 QUEUE Q\_1

ENTER Uz\_1

DEPART Q\_1

ADVANCE (Exponential(175,0,0.4))

LEAVE Uz\_1

TRANSFER .9,,St\_2 ; передача транзакта с вероятностью 0,9 в узел 2

TABULATE TU

DEPART Q\_TOTAL

TERMINATE 1

St\_2 QUEUE Q\_2

SEIZE Uz\_2

DEPART Q\_2

ADVANCE (Exponential(175,0,0.5))

RELEASE Uz\_2

TRANSFER ,St\_1

РСеМО3

Uz\_1 STORAGE 4 ; число приборов в узле 1

Tw\_1 QTABLE Q\_1,0,1,20 ; время ожидания в узле 1

Tw\_2 QTABLE Q\_2,50,50,20 ; время ожидания в узле 2

TU TABLE M1,150,150,20 ; время пребывания в сети

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

GENERATE (Exponential(175,0,4.5))

QUEUE Q\_TOTAL

St\_1 QUEUE Q\_1

ENTER Uz\_1

DEPART Q\_1

ADVANCE (Exponential(175,0,0.4))

LEAVE Uz\_1

TRANSFER .9,,St\_2 ; передача транзакта с вероятностью 0,9 в узел 2

TABULATE TU

DEPART Q\_TOTAL

TERMINATE 1

St\_2 QUEUE Q\_2

SEIZE Uz\_2

DEPART Q\_2

ADVANCE (Exponential(175,0,0.25) + Exponential(176,0,0.25))

RELEASE Uz\_2

TRANSFER ,St\_1

Результаты приведены для 106 транзактов.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристики | РСеМО-1 | | | РСеМО-2 | | | РСеМО-3 | | |
| У1 | У2 | Сеть | У1 | У2 | Сеть | У1 | У2 | Сеть |
| Загрузка | 0.222 | 1 | 1.222 | 0.222 | 1 | 1.222 | 0.222 | 1 | 1.122 |
| Длина очереди | 0.004 | 928.740 | 930.633 | 0.004 | 587.611 | 589.504 | 0.001 | 801.986 | 803.876 |
| Число заявок | 0.892 | 929.740 | 930.632 | 0.892 | 588.611 | 589.503 | 0.889 | 802.986 | 803.875 |
| Время ожидания | 0.002 | 464.450 | 2632.952 | 0.002 | 284.702 | 2642.281 | 0 | 400.991 | 3605.91 |
| Время пребывания | 0.402 | 464.950 | 2642.452 | 0.402 | 294.202 | 2651.781 | 0,4 | 401,491 | 3615.41 |

Как видно из результатов моделирования, РСеМО-2 оказалась эффективнее РСеМО-1 за счёт детерминированного интервала между заявками, т.к. оно снижает вероятность появления очередей, в результате чего уменьшаются и времена ожидания и пребывания.

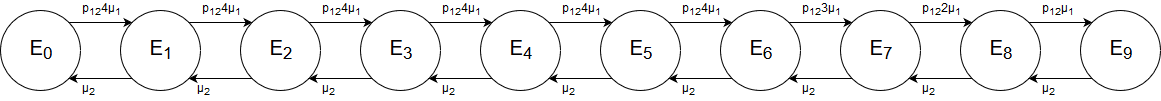
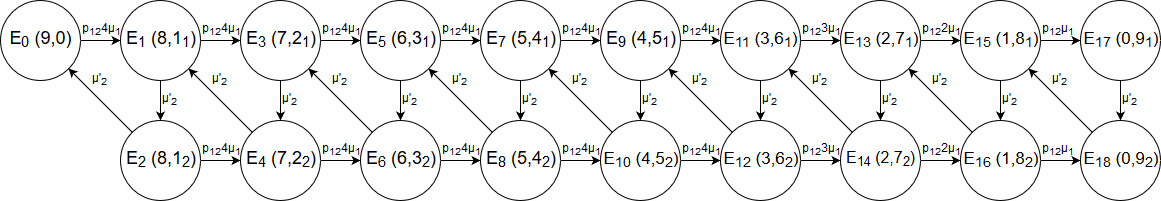
РСеМО-3 также оказалась эффективнее РСеМО-1, поскольку время обслуживания имеет распределение Эрланга с коэф-том вариации , т.е. оно ближе к детерминированному, чем экспоненциальное с коэф-том вариации 1.

Сравнительная таблица для имитационного и аналитического моделирования

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристики СеМО | Имитационное моделирование | | | Аналитическое моделирование | | |
| У1 | У2 | Сеть | У1 | У2 | Сеть |
| Загрузка | 0.222 | 1 | 1.222 | 0.22 | 0.99 | 1.21 |
| Длина очереди | 0.004 | 928.740 | 930.633 | 0.004 | 990.014 | 998.018 |
| Число заявок | 0.892 | 929.740 | 930.632 | 0.892 | 999.013 | 999.905 |
| Время ожидания | 0.002 | 464.450 | 2632.952 | 0.002 | 499.506 | 4495.576 |
| Время пребывания | 0.402 | 464.950 | 2642.452 | 0.402 | 500.006 | 4504.076 |

Для расчета характеристик СеМО имитационным методом используются генераторы псевдослучайных величин, которые не могут отобразить реальное распределение, что приводит к появлению погрешностей.

**Вывод:** самые точные результаты дал метод аналитического моделирования. Численный метод дал худшие результаты, чем аналитический, вследствие упрощения используемых математических формул. Имитационное моделирование дает наименее точные результаты из-за несовершенства генераторов случайных величин и ограниченного количества пропускаемых транзактов.**Приложение:** графы переходов

** **