**Университет ИТМО**

**Лабораторная работа №4 «Исследование сетевых моделей массового обслуживания»**

*по дисциплине: Моделирование*

Вариант 36\6

Выполнили: Соболев Иван, Верещагин Егор, P34312

Преподаватель: Тропченко Андрей Александрович

Санкт-Петербург

2024

Содержание

[1. Цель 3](#_Toc183510765)

[2. Задачи 3](#_Toc183510766)

[3. Выполнение 3](#_Toc183510767)

[4. Вывод 3](#_Toc183510768)

# Цель

Исследование свойств системы, моделируемой в виде замкнутых и разомкнутых сетей массового обслуживания (СеМО) с однородным потоком заявок с применением имитационного моделирования при различных предположениях о параметрах структурно-функциональной организации и нагрузки.

# Выполнение

## Исходные данные

*Таблица 1. Структурные параметры и количество заявок ЗСеМО.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вариант** | **Кол-во**  **узлов** | **Количество приборов в узлах** | | | | **Номер**  **узла** | **Тип**  **модели** |
| **У1** | **У2** | **У3** | **У4** |
| 36 | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | М3 |

*Таблица 2. Вероятности передач и средние длительности обслуживания заявок в узлах ЗСеМО.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вариант** | **Вероятность передач** | | | **Средние длительности обслуживания** | | | |
| **P10** | **P12** | **P13** | **B1** | **B2** | **B3** | **B4** |
| 6 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 1 | 15 | 10 | 6,4 |

A diagram of a diagram

Description automatically generated

*Рисунок 1. Граф модели.*

# ЗСеМО

## Описание модели

* Сеть массового обслуживания – замкнутая четырехузловая.
* Количество приборов в узлах: узлы 2, 3 и 4 – одноканальные, узел 1 – четырехканальный.
* Поток заявок однородный.
* Средние длительности обслуживания заявок в узлах ЗСеМО: b1=1, b2=15, b3=10, b4=6,4
* Вероятности передач:

*Таблица 3. Матрица вероятностей передач.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 0 |  | 1 |  |  |  |
| 1 | 0,2 |  | 0,3 | 0,3 | 0,2 |
| 2 |  | 1 |  |  |  |
| 3 |  | 1 |  |  |  |
| 4 |  | 1 |  |  |  |

* Рассчитанные значения коэффициентов передач для узлов сети:

A math equations with numbers

Description automatically generated with medium confidence

Полагая a0 = 1, можно найти корни системы уравнений:

α1= 5

α2= 1.5

α3= 1.5

α4= 1

* Число заявок, циркулирующих в замкнутой СеМО – варьируемый параметр, который мы будем изменять в процессе исследования.

## Предположения и допущения

* Длительности обслуживания заявок во всех узлах распределены по экспоненциальному закону с интенсивностями μ1 = 1 , μ2 = 1, μ3= 1 , μ4= 1 . где b1, b2, b3, b4 – средние длительности 𝑏3 𝑏4 обслуживания заявок. В некоторых экспериментах будем изменять закон распределения времени обслуживания заявок в узле 3.
* Приборы в узлах У1 и У4 идентичны, любая заявка может обслуживаться в любом приборе.
* Заявка после обслуживания в У1 с вероятностью p10 = 0,2 возвращается в тот же узел 1.
* Дуга, выходящая из узла 1 и входящая обратно в этот же узел, рассматривается как внешняя по отношению к СеМО, и на ней выбирается нулевая точка «0».

## Разработка имитационной модели

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

\* Модель ЗСМО \*

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

\* И с х о д н ы е д а н н ы е \*

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

UZEL\_1 STORAGE 2;

UZEL\_2 STORAGE 1;

UZEL\_3 STORAGE 1;

UZEL\_4 STORAGE 2;

b1 EQU 1;

b2 EQU 15;

b3 EQU 10;

b4 EQU 6.4;

\*Номер генератора для длительности обслуживания\*

RN\_b EQU 69;

\*Параметры гипоэкспоненциального распределения (Эрланга)\*

k\_er1 EQU 2; порядок распределения Эрланга

RN\_er11 EQU 10; номер первого генератора для распределения Эрланга 2-порядка

RN\_er12 EQU 20; номер второго генератора для распределения Эрланга 2-порядка

Erl\_2 VARIABLE (Exponential(RN\_erl1,0,b3/2))+(Exponential(RN\_erl2,0,b3/2)); сл.величина по закону Эрланга 2-го порядка

\*Параметры гиперэкспоненциального распределения с коэффициентом вариации 2\*

RN\_H EQU 91; номер генератора для гиперэкспоненциального распределения

qq EQU 0.2; вероятность выбора первой фазы

tt\_1 EQU 41.39; мат. ожидание первой фазы гиперэкспоненциального распределения

tt\_2 EQU 4.65; мат. ожидание второй фазы гиперэкспоненциального распределения

TU\_buf1 QTABLE buf1,0.1,0.1,50;

TU\_buf2 QTABLE buf2,0.1,0.1,50;

TU\_buf3 QTABLE buf3,0.1,0.1,50;

TU\_buf4 QTABLE buf4,0.1,0.1,50;

SUM\_LEN VARIABLE 0

INITIAL X$SUM\_LEN, 0

SUM\_TIME VARIABLE 0

INITIAL X$SUM\_TIME, 0

\*GENERATE (Exponential(RN\_a,0,t\_a))

\*GENERATE (GetRandomNumberFromFile("numbers2.txt"))

\*GENERATE (hyper1(RN\_H,qq,tt\_1,tt\_2))

\*GENERATEV$Erl\_2

GENERATE ,,,9

U\_1 QUEUE buf1

ENTER UZEL\_1

DEPART buf1

ADVANCE (Exponential(RN\_b,0,b1))

LEAVE UZEL\_1

TRANSFER 0.8,,U\_0

TRANSFER 0.7,,U\_2

TRANSFER 0.7,,U\_3

TRANSFER 0.8,,U\_4

U\_0 SAVEVALUE SUM\_LEN,(QA$buf1 + QA$buf2 + QA$buf3 + QA$buf4)

SAVEVALUE SUM\_TIME, (TB$TU\_buf1 + TB$TU\_buf2 + TB$TU\_buf3 + TB$TU\_buf4)

TRANSFER ,U\_1

U\_2 QUEUE buf2

ENTER UZEL\_2

DEPART buf2

ADVANCE (Exponential(RN\_b,0,b2))

LEAVE UZEL\_2

TRANSFER ,U\_1

U\_3 QUEUE buf3

ENTER UZEL\_3

DEPART buf3

\*ADVANCE (hyper1(RN\_H,qq,tt\_1,tt\_2))

\*ADVANCE (V$Erl\_2)

ADVANCE (Exponential(RN\_b,0,b3))

LEAVE UZEL\_3

TRANSFER ,U\_1

U\_4 QUEUE buf4

ENTER UZEL\_4

DEPART buf4

ADVANCE (Exponential(RN\_b,0,b4))

LEAVE UZEL\_4

TRANSFER ,U\_1

GENERATE 1000000

TERNIBATE 1

START 1

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

\* Процедура возвращает значение псевдослучайной величины, \*

\* распределенной по гиперэкспоненциальному закону, в \*

\* соответствии с параметрами распределения qq, tt\_1, tt\_2. \*

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

PROCEDURE hyper1(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;

\*Параметры гиперэкспоненциального распределения с коэффициентом вариации 2\*

RN\_H EQU 91; номер генератора для гиперэкспоненциального распределения

qq EQU 0.2; вероятность выбора первой фазы

tt\_1 EQU 41.39; мат. ожидание первой фазы гиперэкспоненциального распределения

tt\_2 EQU 4.65; мат. ожидание второй фазы гиперэкспоненциального распределения

TU\_buf1 QTABLE buf1,0.1,0.1,50;

TU\_buf2 QTABLE buf2,0.1,0.1,50;

TU\_buf3 QTABLE buf3,0.1,0.1,50;

TU\_buf4 QTABLE buf4,0.1,0.1,50;

SUM\_LEN VARIABLE 0

INITIAL X$SUM\_LEN, 0

SUM\_TIME VARIABLE 0

INITIAL X$SUM\_TIME, 0

\*GENERATE (Exponential(RN\_a,0,t\_a))

\*GENERATE (GetRandomNumberFromFile("numbers2.txt"))

\*GENERATE (hyper1(RN\_H,qq,tt\_1,tt\_2))

\*GENERATEV$Erl\_2

GENERATE ,,,9

U\_1 QUEUE buf1

ENTER UZEL\_1

DEPART buf1

ADVANCE (Exponential(RN\_b,0,b1))

LEAVE UZEL\_1

TRANSFER 0.8,,U\_0

TRANSFER 0.7,,U\_2

TRANSFER 0.7,,U\_3

TRANSFER 0.8,,U\_4

U\_0 SAVEVALUE SUM\_LEN,(QA$buf1 + QA$buf2 + QA$buf3 + QA$buf4)

SAVEVALUE SUM\_TIME, (TB$TU\_buf1 + TB$TU\_buf2 + TB$TU\_buf3 + TB$TU\_buf4)

TRANSFER ,U\_1

U\_2 QUEUE buf2

ENTER UZEL\_2

DEPART buf2

ADVANCE (Exponential(RN\_b,0,b2))

LEAVE UZEL\_2

TRANSFER ,U\_1

U\_3 QUEUE buf3

ENTER UZEL\_3

DEPART buf3

\*ADVANCE (hyper1(RN\_H,qq,tt\_1,tt\_2))

\*ADVANCE (V$Erl\_2)

ADVANCE (Exponential(RN\_b,0,b3))

LEAVE UZEL\_3

TRANSFER ,U\_1

U\_4 QUEUE buf4

ENTER UZEL\_4

DEPART buf4

ADVANCE (Exponential(RN\_b,0,b4))

LEAVE UZEL\_4

TRANSFER ,U\_1

GENERATE 1000000

TERNIBATE 1

START 1

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

\* Процедура возвращает значение псевдослучайной величины, \*

\* распределенной по гиперэкспоненциальному закону, в \*

\* соответствии с параметрами распределения qq, tt\_1, tt\_2. \*

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

PROCEDURE hyper1(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;

LEAVE UZEL\_4

TRANSFER ,U\_1

GENERATE 1000000

TERMINATE 1

START 1

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

\* Процедура возвращает значение псевдослучайной величины, \*

\* распределенной по гиперэкспоненциальному закону, в \*

\* соответствии с параметрами распределения qq, tt\_1, tt\_2. \*

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

PROCEDURE hyper1(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;

## Проведение имитационных экспериментов

*Таблица 4. Зависимость производительности сети от числа циркулирующих в ней заявок*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| M | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Производительность с-1 | 0,01203369 | 0,01803147 | 0,01514018 | 0,01123144 | 0,00843288 | 0,00658091 | 0,00533174 | 0,00445596 | 0,00381746 | 0,00333540 |
| % | - | 19,09682136 | 34,80168458 | 33,18634221 | 28,1414613 | 23,42893678 | 19,6541872 | 16,72585413 | 14,45261763 | 12,66802632 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 0,00296038 | 0,00266110 | 0,00241705 | 0,00221434 | 0,00204332 | 0,00189709 | 0,00177058 | 0,00166004 | 0,00156259 | 0,00147602 |
| 11,24658518 | 10,09720035 | 9,154120196 | 8,369584011 | 7,708528433 | 7,144905315 | 6,659132614 | 6,236317738 | 5,865006168 | 5,536290284 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 0,00139859 | 0,00132891 | 0,00126587 | 0,00120856 | 0,00115621 | 0,00110822 | 0,00106406 | 0,00102329 | 0,00098552 | 0,00095044 |
| 5,243168069 | 4,980077183 | 4,742553411 | 4,526978126 | 4,330390006 | 4,150343471 | 3,984801368 | 3,832052917 | 3,69065045 | 3,559360217 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 0,00091778 | 0,00088728 | 0,00085874 | 0,00083198 | 0,00080684 | 0,00078317 | 0,00076085 | 0,00073977 | 0,00071982 | 0,00070092 |
| 3,437123818 | 3,323027697 | 3,216278842 | 3,116185246 | 3,022140093 | 2,933608866 | 2,85011875 | 2,771249872 | 2,696628017 | 2,62591852 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| 0,00068298 | 0,00066594 | 0,00064973 | 0,00063429 | 0,00061957 | 0,00060551 | 0,00059208 | 0,00057922 | 0,00056692 | 0,00055513 |
| 2,558821135 | 2,495065686 | 2,434408369 | 2,376628591 | 2,321526263 | 2,268919456 | 2,218642381 | 2,170543636 | 2,124484667 | 2,080338438 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 51 | 52 | 53 |
| 0,00054381 | 0,00053295 | 0,00052251 |
| 2,037988251 | 1,997326718 | 1,958254844 |

Из данных представленной таблицы видим, что критическое число заявок М\* в нашей сети М\* = 52.

# Вывод