

**Государственный комитет связи, информатизации и телекоммуникационных
технологии Республики Узбекистан**

Ташкентский Университет Информационных Технологии

Курсовая работа

На тему: Аналитическое и имитационное моделирование сети

передачи данных

Вариант №49

Выполнил : Шерматов Ж

группа: 404-13

Проверил: Амирсаидов У.

Ташкент 2015

Содержание

Цель курсовой работы и данные по варианту.....	3
1.ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	5
1.1. Обозначения СМО.....	6
1.2. Характеристики СеМО.....	7
2.АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	8
2.1. Расчёт интенсивности потоков заявок и коэффициента передачи.....	8
2.2. Расчёт узловых характеристик СеМО.....	11
2.3. Расчёт узловых характеристик СеМО.....	13
3.ИМИТАЦИОННАЯ ЧАСТЬ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	15
3.1. Реализация СеМо в Any Logic.....	15
3.2.Листинг конфигурации для Java class.....	22
3.3. Результаты полученные при имитационном моделировании.....	25
Вывод.....	29
Список литературы.....	30

Курсовая работа состоит из аналитических расчётов по теории передачи данных также из расчётов имитационного моделирования сети массового обслуживания реализованных в программном продукте Any Logic.

Целью курсовой работы является рассчитать узловые и сетевые характеристики сети массового обслуживания, также сформулировать модель сети на программе Any Logic и анализировать полученные результаты путем сравнения.

Вариант №49

1. Топология сети и матрица вероятностей передачи пакетов:

Узлы (<i>i, j</i>)	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1/3	1/3	0	0	0	0
2	1/3	0	1/3	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1/4	1/4	0
4	0	1/3	0	0	1/3	0	0
5	0	1/2	0	0	0	1/2	0
6	0	0	0	1/2	0	0	1/2
7	0	0	0	0	0	1/3	0

p_{ij} - вероятность передачи пакета из узла i в узел j .

Вероятность выхода пакета из сети в узле i : $1 - \sum_{j=1}^N p_{ij}$

2. Вектор интенсивностей внешних входящих потоков в узлах:

Интенсивность внешнего входящего потока пакетов (пакет/сек.)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.1	0	0.2	0.14	0	0	0.2

3. Типы математических моделей узлов сети:

	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
Математические модели	M/D/1	M/M/1	M/D/1	M/M/1	M/ E_2 /1	M/U/1	M/M/1

Распределения времени обслуживания пакетов: M- экспоненциальное; D- детерминированное; E_2 -Эрланга 2-порядка; U-равномерное.

4. Среда имитационного моделирования: AnyLogic.

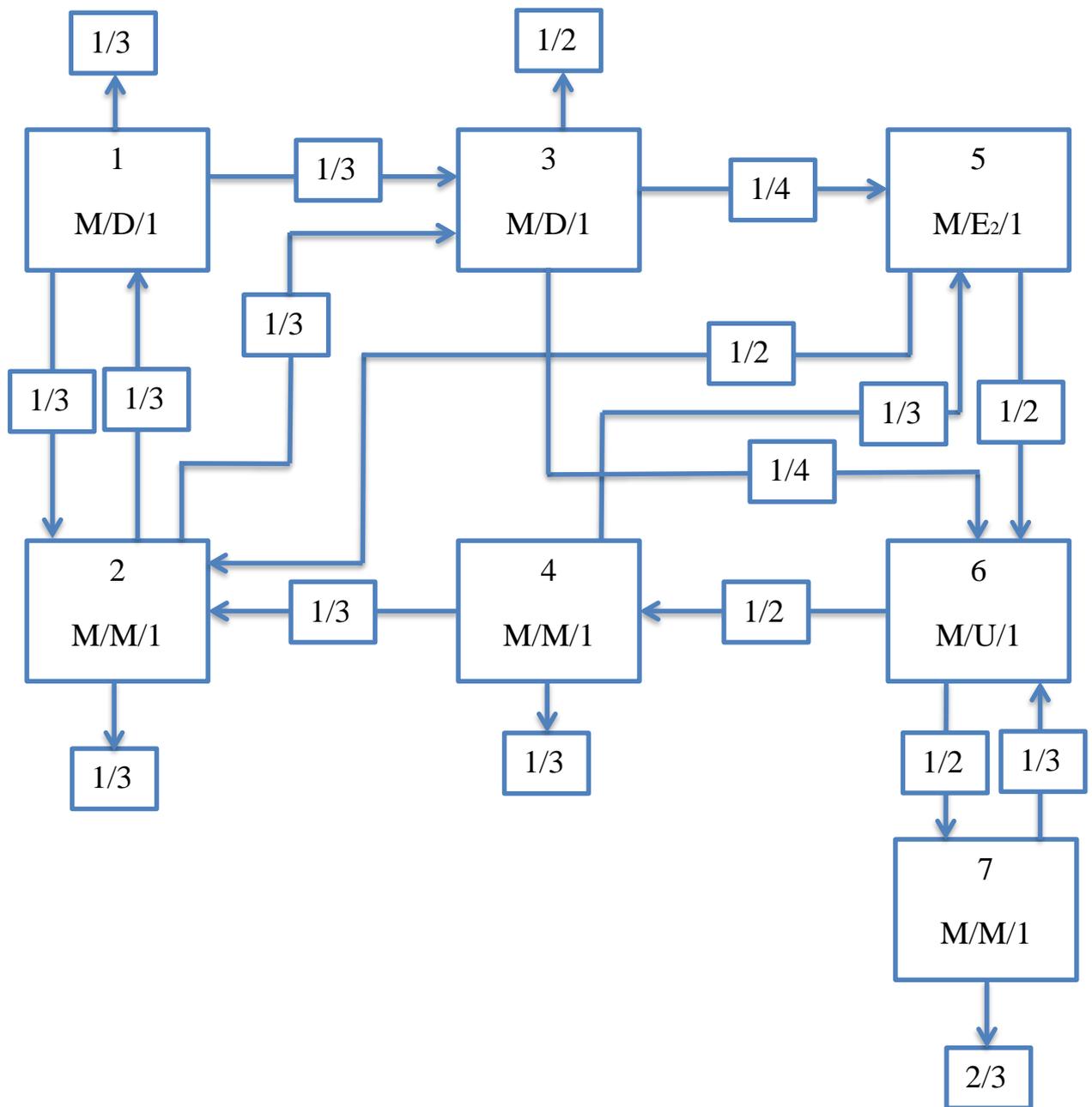


Рис.1. Граф переходов.

Как показывает граф переходов из узла 1 в узлы 2 и 3 с одинаковой вероятностью $1/3$ поступают заявки, и с вероятностью $1/3$ уничтожаются. Из 2 го узла с одинаковой вероятностью $1/3$ поступают заявки, в узлы 1 и 3, с такой же вероятностью уничтожаются заявки. Из 3 го узла с одинаковой вероятностью $1/4$ поступают заявки, в узлы 5 и 6, с вероятностью $1/2$ уничтожаются. Как видно, из 4 го узла с одинаковой вероятностью $1/3$ поступают заявки, в узлы 2 и 5, с такой же вероятностью уничтожаются заявки в узле 4. Из 5 го узла с одинаковой вероятностью $1/2$ поступают заявки, в узлы 2 и 6. Из 6 го узла с одинаковой вероятностью $1/2$ поступают

заявки, в узлы 4 и 7. Из 7 го узла с вероятностью $1/3$ поступают заявки в узел 6 и с вероятностью $2/3$ уничтожаются.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Моделирование – один из наиболее распространенных методов исследования процессов функционирования сложных систем. Известно достаточно большое количество методов построения математических моделей и средств реализации моделирующих алгоритмов. Наиболее распространенными из них являются системы и сети массового обслуживания. В терминах систем массового обслуживания (СМО) описываются многие реальные системы: вычислительные системы, узлы сетей связи, системы посадки самолетов, магазины, производственные участки любые системы, где возможны очереди и(или) отказы в обслуживании. В вычислительной системе роль обслуживающего прибора играет ЭВМ, роль заявок – решаемые задачи. Источником заявок служат терминалы пользователей. Моментом выдачи заявки является момент нажатия клавиши для подачи директивы о запуске задачи на решение. Операционная системы ЭВМ исполняет роль диспетчера: определяет очередность решения задач. В роли ячеек буфера выступают ячейки памяти ЭВМ, хранящие сведения о задачах, требующих решения.

Система массового обслуживания (СМО) – математический (абстрактный) объект, содержащий один или несколько *приборов П* (каналов), обслуживающих заявки *З*, поступающие в систему, и *накопитель Н*, в котором находятся заявки, образующие *очередь О* и ожидающие обслуживания (рис.2). **Заявка (требование, запрос, вызов, клиент)** – объект, поступающий в СМО и требующий обслуживания в обслуживающем приборе. Совокупность заявок, распределенных во времени, образуют *поток заявок*.

Обслуживающий прибор или просто *прибор (устройство, канал, линия)* – элемент СМО, функцией которого является обслуживание заявок. В каждый момент времени в приборе на обслуживании может находиться только одна заявка.

Обслуживание – задержка заявки на некоторое время в обслуживающем приборе.

Длительность обслуживания – время задержки (обслуживания) заявки в приборе.

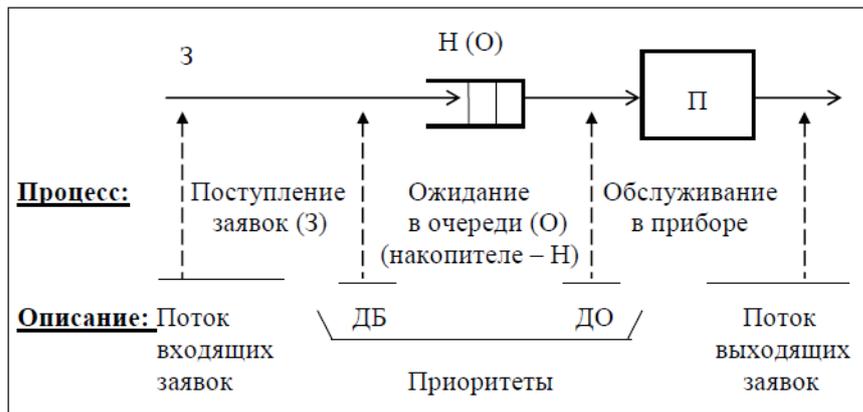


Рис.2. Система массового обслуживания.

Накопитель (буфер) – совокупность мест для ожидания заявок перед обслуживающим прибором. Количество мест для ожидания определяет **ёмкость накопителя**. Заявка, поступившая на вход СМО, может находиться в двух состояниях:

- _ в состоянии *обслуживания* (в приборе);
- _ в состоянии *ожидания* (в накопителе), если все приборы заняты обслуживанием других заявок.

Заявки, находящиеся в накопителе и ожидающие обслуживания, образуют **очередь** заявок. Количество заявок, ожидающих обслуживания в накопителе, определяет **длину очереди**.

1.1.Обозначения СМО

Для компактного описания систем массового обслуживания часто используются обозначения, предложенные Д. Кендаллом, в виде:

A/B/N/L, где **A** и **B** – задают законы распределений соответственно интервалов времени между моментами поступления заявок в систему и длительности обслуживания заявок в приборе; **N** – число обслуживающих приборов в системе ($N = 1, 2, \dots, \infty$); **L** – число мест в накопителе, которое может принимать значения 0, 1, 2, ... (отсутствие **L** означает, что накопитель имеет неограниченную ёмкость).

Для задания законов распределений **A** и **B** используются следующие обозначения:

- G** (General) – произвольное распределение общего вида;
- M** (Markovian) – экспоненциальное (показательное) распределение;
- D** (Deterministik) – детерминированное распределение;
- U** (Uniform) – равномерное распределение;

E_k (Erlangian) – распределение Эрланга *k*-го порядка (с *k* последовательными одинаковыми экспоненциальными фазами);

h_k (hipoexponential) – гипоекспоненциальное распределение *k*-го порядка (с *k* последовательными разными экспоненциальными фазами);

H_r (Hiperexponential) – гиперэкспоненциальное распределение порядка *r* (с *r* параллельными экспоненциальными фазами);

g (gamma) – гамма-распределение;

P (Pareto) – распределение Парето и т.д.

1.2. Характеристики СеМО

Характеристики СеМО делятся на два класса:

узловые, описывающие эффективность функционирования отдельных узлов СеМО;

сетевые, описывающие функционирование СеМО в целом. Состав *узловых характеристик* СеМО, работающей в *стационарном режиме*, такой же, как и для СМО, и для узла $j = 1, n$ включает в себя следующие характеристики:

нагрузка узла: $y_j = \lambda_j * b_j$

загрузка узла: $p_j = \frac{y_j}{K}$, причем $p_j < 1$

коэффициент простоя узла: $\eta_j = 1 - p_j$

время ожидания заявок в узле: w_j

время пребывания заявок в узле: $u_j = w_j + b_j$

длина очереди заявок узле: $l_j = \lambda_j * w_j$

число заявок в узле (в очереди и на обслуживании): $m_j = \lambda_j * u_j$

На основе *узловых характеристик* рассчитываются *сетевые характеристики* СеМО:

суммарная загрузка: $R = \sum_{j=1}^n p_j$

среднее число заявок, находящихся в очередях всех узлов сети и ожидающих обслуживания: $L = \sum_{j=1}^n l_j$

среднее число заявок, находящихся в сети: $M = \sum_{j=1}^n m_j$

среднее время ожидания заявок в сети: $W = \sum_{j=1}^n \alpha_j w_j$

среднее время пребывания заявок в сети: $U = \sum_{j=1}^n \alpha_j u_j$

В данной курсовой работе представлена одноканальная модель СМО с накопителем неограниченной емкости, при этом интенсивность поступления заявок подчиняется экспоненциальному закону распределения во всех узлах.

1.1. Система – *одноканальная* – с одним обслуживающим прибором.

1.2. Поток заявок *однородный*.

1.3. В приборе происходит задержка поступающих в систему заявок на некоторое *случайное* время.

1.4. В системе имеется накопитель *неограниченной* ёмкости: $r = \infty$, то есть любая заявка, поступившая в систему, найдет место для ожидания в очереди и не будет потеряна.

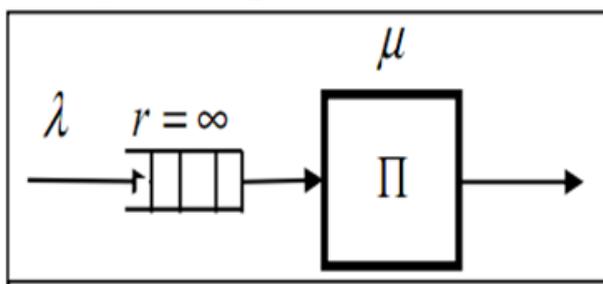


Рис.3. Одноканальная СМО с накопителем неограниченной емкости.

2. Предположения и допущения.

2.1. Поступающие в систему заявки образуют *простейший* поток с интенсивностью λ .

2.2. Длительность обслуживания заявок в приборе распределена по *экспоненциальному* закону с интенсивностью $m = 1/b$, где b – средняя длительность обслуживания заявок в приборе.

2.3. Дисциплина буферизации отсутствует, поскольку накопитель имеет неограниченную ёмкость.

2.4. Дисциплина обслуживания – *в порядке поступления* по правилу «первым пришел – первым обслужен» (FIFO).

2.5. Нагрузка системы совпадает с загрузкой, причём выполняется условие: $\rho = \lambda/b < 1$, то есть система работает в установившемся режиме без перегрузок. При $\rho > 1$, в отличие от предыдущих моделей, в СМО устанавливается режим перегрузок.

2. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

2.1. Расчёт интенсивности потоков заявок и коэффициента передачи.

По графу переходов составляем уравнение баланса интенсивности, в котором для каждого уравнения принимаются те значения λ являющиеся исходящими для данного узла с соответствующей вероятностью, а значение

свободного коэффициента есть число принимающее источник сообщения (source).

$$\lambda_1 = 0.1 + \frac{1}{3}\lambda_2$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{3}\lambda_1 + \frac{1}{3}\lambda_4 + \frac{1}{2}\lambda_5$$

$$\lambda_3 = 0.2 + \frac{1}{3}\lambda_1 + \frac{1}{3}\lambda_2$$

$$\lambda_4 = 0.14 + \frac{1}{2}\lambda_6$$

$$\lambda_5 = \frac{1}{4}\lambda_3 + \frac{1}{3}\lambda_4$$

$$\lambda_6 = \frac{1}{4}\lambda_3 + \frac{1}{2}\lambda_5 + \frac{1}{3}\lambda_7$$

$$\lambda_7 = 0.2 + \frac{1}{2}\lambda_6$$

Расчёт проводился методом подстановки:

$$\lambda_7 - \lambda_4 = 0.2 - 0.14 = 0.06$$

$$\lambda_6 - \lambda_5 = \frac{1}{2}\lambda_5 + \frac{1}{3}\lambda_7 - \frac{1}{3}\lambda_4$$

$$3(\lambda_6 - \lambda_5) = \frac{3}{2}\lambda_5 + 0.06$$

$$\lambda_6 = \mathbf{0.02} + \mathbf{1.5}\lambda_5$$

$$\lambda_5 - \lambda_4 = \frac{1}{4}\lambda_3 + \frac{1}{3}\lambda_4 - 0.14 + \frac{1}{2}\lambda_6$$

$$\lambda_5 = \frac{4}{3}\lambda_4 + \frac{1}{4}\lambda_3 - 0.14 - \frac{1}{2}\lambda_6 = \frac{4}{3}\lambda_4 + \frac{1}{4}\lambda_3 - 0.14 - \frac{1}{2}(0.02 + 1.5\lambda_5) = \frac{4}{3}\lambda_4 + \frac{1}{4}\lambda_3 - 0.15 - \frac{3}{4}\lambda_5$$

$$\frac{7}{4}\lambda_5 = \frac{4}{3}\lambda_4 + \frac{1}{4}\lambda_3 - 0.15 \quad \lambda_5 = \frac{16}{21}\lambda_4 + \frac{1}{7}\lambda_3 - \frac{3}{35}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_5 = \frac{16}{21}\lambda_4 + \frac{1}{7}\lambda_3 - \frac{3}{35} \\ \lambda_5 = \frac{1}{4}\lambda_3 + \frac{1}{3}\lambda_4 \end{array} \right.$$

$$\frac{16}{21}\lambda_4 + \frac{1}{7}\lambda_3 - \frac{3}{35} = \frac{1}{4}\lambda_3 + \frac{1}{3}\lambda_4$$

$$\frac{9}{21}\lambda_4 - \frac{3}{35} = \frac{3}{28}\lambda_3$$

$$3\lambda_4 = \frac{3}{5} + \frac{3}{4}\lambda_3$$

$$\lambda_4 = 0.2 + \frac{1}{4}\lambda_3$$

$$\lambda_1 - \lambda_2 = 0.1 + \frac{1}{3}\lambda_2 - \frac{1}{3}\lambda_1$$

$$\lambda_5 = \frac{1}{4}\lambda_3 + \frac{1}{3}(0.2 + \frac{1}{4}\lambda_3)$$

$$\lambda_5 = \frac{1}{3}\lambda_3 + \frac{1}{15}$$

$$\lambda_6 = \frac{1}{4}\lambda_3 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}\lambda_3 + \frac{1}{15}\right) + \frac{1}{3}(0.2 + \frac{1}{2}\lambda_6)$$

$$\frac{5}{6}\lambda_6 = \frac{5}{12}\lambda_3 + \frac{1}{10} \quad \lambda_6 = \frac{1}{2}\lambda_3 + \frac{3}{25}$$

$$\lambda_3 - \lambda_2 = 0.2 + \frac{1}{3}\lambda_2 - \frac{1}{3}\lambda_4 - \frac{1}{2}\lambda_5$$

$$\lambda_3 = \frac{4}{3}\lambda_2 + 0.2 - \frac{1}{3}(0.2 + \frac{1}{4}\lambda_3) - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}\lambda_3 + \frac{1}{15}\right)$$

$$\frac{5}{4}\lambda_3 = \frac{4}{3}\lambda_2 + 0.1$$

$$\lambda_2 = \frac{15}{16}\lambda_3 - \frac{3}{40}$$

$$\lambda_3 - \lambda_1 = \frac{1}{3}\lambda_1 + 0.1$$

$$\frac{4}{3}\lambda_1 = \lambda_3 - 0.1$$

$$\lambda_1 = \frac{3}{4}\lambda_3 - \frac{3}{40}$$

$$\begin{cases} \lambda_1 = 0.1 + \frac{1}{3}\lambda_2 \\ \lambda_1 = \frac{3}{4}\lambda_3 - \frac{3}{40} \end{cases}$$

$$\frac{3}{4}\lambda_3 - \frac{3}{40} = 0.1 + \frac{1}{3}\left(\frac{15}{16}\lambda_3 - \frac{3}{40}\right)$$

$$\frac{3}{4}\lambda_3 - \frac{15}{48}\lambda_3 = 0.1 + \frac{1}{20}$$

$$\frac{21}{48} \lambda_3 = 0.15$$

$$\lambda_3 = \frac{3}{20} * \frac{48}{21} = \frac{12}{35} = 0.34$$

$$\lambda_1 = \frac{3}{4} \lambda_3 - \frac{3}{40} = 0.75 * 0.34 - 0.075 = 0.28$$

$$\lambda_2 = \frac{15}{16} \lambda_3 - \frac{3}{40} = \frac{15}{16} * 0.34 - 0.075 = 0.21$$

$$\lambda_4 = 0.2 + \frac{1}{4} \lambda_3 = 0.2 + 0.25 * 0.34 = 0.29$$

$$\lambda_5 = \frac{1}{3} \lambda_3 + \frac{1}{15} = 0.25$$

$$\lambda_6 = \frac{1}{2} \lambda_3 + \frac{3}{25} = 0.5 * 0.34 + 0.12 = 0.29$$

$$\lambda_7 = 0.2 + \frac{1}{2} \lambda_6 = 0.2 + 0.5 * 0.29 = 0.34$$

Исходя из λ находим коэффициенты передачи для каждого узла:

$$\alpha = \frac{\lambda_i}{\Sigma \lambda} \quad i = 1, 7$$

$$\Sigma \lambda = 0.18 + 0.21 + 0.34 + 0.29 + 0.25 + 0.29 + 0.3 = 1.96$$

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{\Sigma \lambda} = \frac{0.18}{1.96} = 0.14$$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{\Sigma \lambda} = \frac{0.21}{1.96} = 0.11$$

$$\alpha_3 = \frac{\lambda_3}{\Sigma \lambda} = \frac{0.34}{1.96} = 0.18$$

$$\alpha_4 = \frac{\lambda_4}{\Sigma \lambda} = \frac{0.29}{1.96} = 0.15$$

$$\alpha_5 = \frac{\lambda_5}{\Sigma \lambda} = \frac{0.25}{1.96} = 0.13$$

$$\alpha_6 = \frac{\lambda_6}{\Sigma \lambda} = \frac{0.29}{1.96} = 0.15$$

$$\alpha_7 = \frac{\lambda_7}{\Sigma \lambda} = \frac{0.3}{1.96} = 0.15$$

2.2. РАСЧЁТ УЗЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СеМО:

Узел 1. M/D/1. $\lambda_1 = 0.28$; $b_1=2$; $V=0$

1. $p_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} < 1$

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, где $\mu = \frac{1}{b} \Rightarrow \rho = \lambda b < 1$

$\rho_1 = \lambda_1 * b_1 = 0.28 * 2 = 0.56$

2. $\eta = 1 - \rho = 1 - 0.56 = 0.44$

3. $w = \frac{\lambda b^2}{2(1-\rho)} = \frac{0.28 * (2)^2}{2 * 0.44} = 1.3$

4. $u = w + b = 1.3 + 2 = 3.3$

5. $l = \lambda w = 0.28 * 1.3 = 0.36$

6. $m = \lambda u = 0.28 * 3.3 = 0.92$

Узел 2. M/M/1; $\lambda_2 = 0.21$; $b_2=3$; $V=1$

1. $\rho_2 = \lambda_2 * b_2 = 0.21 * 3 = 0.63$

2. $\eta = 1 - \rho = 1 - 0.63 = 0.37$

3. $w = \frac{\rho b}{1-\rho} = \frac{0.63 * 3}{0.37} = 5.2$

4. $u = w + b = 5.2 + 3 = 8.2$

5. $l = \lambda w = 0.21 * 5.2 = 1.1$

6. $m = \lambda u = 0.21 * 8.2 = 1.7$

Узел 3. M/D/1. $\lambda_3 = 0.34$; $b_3=2$; $V=0$

1. $\rho_3 = \lambda_3 * b_3 = 0.34 * 2 = 0.68$

2. $\eta = 1 - \rho = 1 - 0.68 = 0.32$

3. $w = \frac{\lambda b^2}{2(1-\rho)} = \frac{0.34 * (2)^2}{2 * 0.32} = 2.1$

4. $u = w + b = 2.1 + 2 = 4.1$

5. $l = \lambda w = 0.34 * 2.1 = 0.72$

6. $m = \lambda u = 0.34 * 4.1 = 1.4$

Узел 4. M/M/1; $\lambda_4 = 0.29$; $b_4=2.5$; $V=1$

1. $\rho_4 = \lambda_4 * b_4 = 0.29 * 2.5 = 0.72$

2. $\eta = 1 - \rho = 1 - 0.72 = 0.28$

3. $w = \frac{\rho b}{1 - \rho} = \frac{0.72 * 2.5}{0.28} = 6.4$

4. $u = w + b = 6.4 + 2.5 = 8.9$

5. $l = \lambda w = 0.29 * 6.4 = 1.9$

6. $m = \lambda u = 0.29 * 8.9 = 2.6$

Узел 5. M/E₂/1; $\lambda_5 = 0.25$; $b_5=2$; $k=2$

$V = \frac{1}{\sqrt{k}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.7$

1. $\rho_5 = \lambda_5 * b_5 = 0.25 * 2 = 0.5$

2. $\eta = 1 - \rho = 1 - 0.5 = 0.5$

3. $w = \frac{\lambda b^2(1+V^2)}{2(1-\rho)} = \frac{0.25 * 2^2(1+(0.7)^2)}{2 * 0.5} = 5$

4. $u = w + b = 5 + 2 = 7$

5. $l = \lambda w = 0.25 * 5 = 1.25$

6. $m = \lambda u = 0.25 * 7 = 1.75$

Узел 6. M/U/1; $\lambda_6 = 0.29$; $b_{зад}=1.5$; $a=1$ $b=2$

$V = \frac{b-a}{\sqrt{3}(a+b)} = \frac{2-1}{\sqrt{3}(1+2)} = 0.11$

1. $\rho_6 = \lambda_6 * b_6 = 0.29 * 1.5 = 0.43$

2. $\eta = 1 - \rho = 1 - 0.43 = 0.57$

3. $w = \frac{\lambda b^2(1+V^2)}{2(1-\rho)} = \frac{0.29 * 1.5^2(1+(0.11)^2)}{2 * 0.57} = 0.6$

4. $u = w + b = 0.6 + 1.5 = 2.1$

5. $l = \lambda w = 0.29 * 0.6 = 0.16$

6. $m = \lambda u = 0.29 * 2.1 = 0.61$

Узел 7. M/M/1; $\lambda_7 = 0.3$; $b_7=2.5$; $V=1$

$$1. \rho_7 = \lambda_7 * b_7 = 0.3 * 2.5 = 0.75$$

$$2. \eta = 1 - \rho = 1 - 0.75 = 0.25$$

$$3. w = \frac{\rho b}{1 - \rho} = \frac{0.75 * 2.5}{0.25} = 7.5$$

$$4. u = w + b = 7.5 + 2.5 = 10$$

$$5. l = \lambda w = 0.3 * 7.5 = 2.25$$

$$6. m = \lambda u = 0.3 * 10 = 3$$

2.3. РАСЧЁТ СЕТЕВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СеМО

$$1. R = \sum_{j=1}^n p_j = 0.56 + 0.63 + 0.68 + 0.72 + 0.5 + 0.43 + 0.75 = 4.27$$

$$2. L = \sum_{j=1}^n l_j = 0.36 + 1.1 + 0.72 + 1.9 + 1.25 + 0.16 + 2.25 = 7.8$$

$$3. M = \sum_{j=1}^n m_j = 0.92 + 1.7 + 1.4 + 2.6 + 1.75 + 0.61 + 3 = 12$$

$$4. W = \sum_{j=1}^n \alpha_j w_j = 0.14 * 1.3 + 0.11 * 5.2 + 0.17 * 2.1 + 0.15 * 6.4 + 0.13 * 5 + 0.57 * 0.15 + 0.15 * 7.5 = 3.9$$

$$5. U = \sum_{j=1}^n \alpha_j u_j = 0.14 * 3.3 + 0.11 * 8.9 + 0.17 * 4.1 + 0.15 * 8.9 + 0.13 * 7 + 2.1 * 0.15 + 0.15 * 10 = 8.2$$

$$6. \lambda_0 = \frac{M}{U} = \frac{12}{6.2} = 1.93$$

Полученные результаты в виде таблице.

Узловые характеристики	Узел1 M/D/1	Узел2 M/M/1	Узел3 M/D/1	Узел4 M/M/1	Узел5 M/E ₂ /1	Узел6 M/U/1	Узел7 M/M/1
Загрузка	0.56	0.63	0.68	0.72	0.5	0.43	0.75
Коэффициент простоя	0.44	0.37	0.32	0.28	0.5	0.57	0.25
Ср. время ожидания	1.3	5.2	2.1	6.4	5	0.57	7.5
Ср. время прибывания	3.3	8.9	4.1	8.9	7	2.1	10
Длина очереди	0.36	1.1	0.72	1.9	1.25	0.16	2.25
Число заявок в очереди	0.92	1.7	1.4	2.6	1.75	0.61	3

Сетевые характеристики	Суммарная нагрузка в сети	среднее число заявок, находящихся в очередях	Среднее число заявок в сети	среднее время ожидания заявок в сети	среднее время пребывания заявок в сети
	4.27	7.8	12	3.9	8.2

3. ИМИТАЦИОННАЯ ЧАСТЬ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

3.1. Реализация СеМо в Any Logic

В библиотеке Enterprise находятся элементы source (источник), queue (накопитель), delay (прибор обслуживающий заявки), select output (разветвитель разделяющий поток заявок в указанном направлении) и sink (выход).

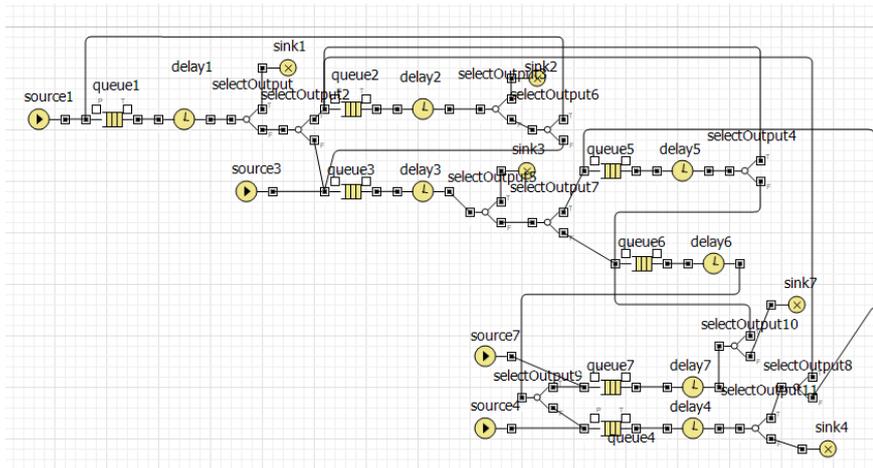


Рис.4. Структура СеМо созданная в Any Logic.

Как видно из структуры сети мы используем в узлах источник (source), буфер (queue), и обслуживающий одноканальный прибор.

Для узла 1 имеем: источник с интенсивностью поступления заявок 0.1 подчиняющий экспоненциальному закону распределения.

source1 - Source

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Заявки прибывают согласно Интенсивности Времени между прибытиями Таблице интенсивностей Расписанию Вызовом метода inject()

Время между прибытиями

Количество заявок, прибывающих за один раз

Ограниченное количество прибытий

Новая заявка

Действие при выходе

Фигура анимации заявки

Уникальная фигура для каждой заявки

Разрешить вращение

Количество:

Буфер с неограниченной емкостью

queue1 - Queue

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Максимальная вместимость

Действие при входе

Действие при подходе к выводу

Действие при выходе

Разрешить уход по таймауту

Разрешить вытеснение

Приоритет заявки

Действие при вытеснении

Фигура анимации

Тип анимации

Направление анимации Вперед Назад

Включить сбор статистики

обслуживающий прибор с временем задержки $\frac{1}{2}$ и являющийся детерминированным.

delay1 - Delay

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Задержка задается Явно Как длина пути/скорость

Время задержки

Вместимость

Максимальная вместимость

Действие при входе

Действие при выходе

Фигура анимации

Тип анимации

Направление анимации Вперед Назад

Включить сбор статистики

Количество:

и выход уничтожающий пакеты.

sink1 - Sink

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Действие при входе

Количество:

Для узла 2 имеем: Буфер с неограниченной емкостью

queue2 - Queue

Имя: queue2 Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Queue<T extends Entity> Класс заявки: Pak

Пакет: om.xj.anylogic.libraries.enterprise

Максимальная вместимость

Действие при входе: entity.t_vxod2=time(); C_vxod2=C_vxod2+1;

Действие при подходе к выходу:

Действие при выходе: t_ojid2.add(time()-entity.t_vxod2); C_vixod2=C_vixod2+1;P_potex2=C_potex2/C_vxod2;

Разрешить уход по таймауту

Разрешить вытеснение

Приоритет заявки: 0

Действие при вытеснении:

Фигура анимации:

Тип анимации: Путь

Направление анимации: Вперед Назад

Включить сбор статистики

Количество:

обслуживающий прибор с временем задержки $1/3$ и подчиняющийся экспоненциальному закону.

delay2 - Delay

Имя: delay2 Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Delay<T extends Entity> Класс заявки: Pak

Пакет: om.xj.anylogic.libraries.enterprise

Явно Как длина пути/скорость

Время задержки: exponential (1/3)

Вместимость: 1

Максимальная вместимость

Действие при входе:

Действие при выходе: entity.t_vixod2=time();t_zad2.add(entity.t_vixod2-entity.t_vxod2);

Фигура анимации:

Тип анимации: Путь

Направление анимации: Вперед Назад

Включить сбор статистики

Количество:

и выход уничтожающий пакеты.

sink2 - Sink

Имя: sink2 Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Sink<T extends Entity> Класс заявки: Pak

Пакет: om.xj.anylogic.libraries.enterprise

Действие при входе: C_potex2=C_potex2+1;

Количество:

Для узла 3 имеем: источник с интенсивностью поступления заявок 0.2 подчиняющий экспоненциальному закону распределения.

source3 - Source

Имя: source3 Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Source<T extends Entity> Класс заявки: Pak

Пакет: om.xj.anylogic.libraries.enterprise

Заявки прибывают согласно Интенсивности Времени между прибытиями Таблице интенсивностей Расписанию Вызовом метода inject()

Время между прибытиями: exponential (0.2)

Количество заявок, прибывающих за один раз: 1

Ограниченное количество прибытий

Новая заявка: new Pak ()

Действие при выходе:

Фигура анимации заявки:

Уникальная фигура для каждой заявки

Разрешить вращение

Количество:

обслуживающий прибор с временем задержки $\frac{1}{2}$ и являющийся детерминированным.

delay3 - Delay

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Задержка задается Явно Как длина пути/скорость

Время задержки^D

Вместимость

Максимальная вместимость

Действие при входе^D

Действие при выходе^D

Фигура анимации

Тип анимации

Направление анимации Вперед Назад

Включить сбор статистики

Количество:

и выход уничтожающий пакеты.

sink3 - Sink

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Действие при входе^D

Количество:

Для узла 4 имеем: источник с интенсивностью поступления заявок 0.14 подчиняющийся экспоненциальному закону распределения.

source4 - Source

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Заявки прибывают согласно Интенсивности Времени между прибытиями Таблице интенсивностей Расписанию Вызовом метода inject()

Время между прибытиями^D

Количество заявок, прибывающих за один раз^D

Ограниченное количество прибытий

Новая заявка^D

Действие при выходе^D

Фигура анимации заявки^D

Уникальная фигура для каждой заявки

Разрешить вращение

Количество:

буфер с неограниченной емкостью

queue4 - Queue

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Максимальная вместимость

Действие при входе^D

Действие при подходе к выходу^D

Действие при выходе^D

Разрешить уход по таймауту

Разрешить вытеснение

Приоритет заявки^D

Действие при вытеснении^D

Фигура анимации

Тип анимации

Направление анимации Вперед Назад

Включить сбор статистики

Количество:

обслуживающий прибор с временем задержки 0.4 и подчиняющийся экспоненциальному закону.

delay4 - Delay

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Задержка задается Явно Как длина пути/скорость

Время задержки

Вместимость

Максимальная вместимость

Действие при входе

Действие при выходе

Фигура анимации

Тип анимации

Направление анимации Вперед Назад

Включить сбор статистики

Количество:

и выход уничтожающий пакеты.

sink4 - Sink

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Действие при входе

Количество:

Для узла 5 имеем: буфер с неограниченной емкостью

queue5 - Queue

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Максимальная вместимость

Действие при входе

Действие при подходе к выходу

Действие при выходе

Разрешить уход по таймауту

Разрешить вытеснение

Приоритет заявки

Действие при вытеснении

Фигура анимации

Тип анимации

Направление анимации Вперед Назад

Включить сбор статистики

Количество:

и обслуживающий прибор с временем задержки 0.5 и подчиняющийся закону Эрланга.

delay5 - Delay

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Задержка задается Явно Как длина пути/скорость

Время задержки^D

Вместимость

Максимальная вместимость

Действие при входе^D

Действие при выходе^D

Фигура анимации

Тип анимации

Направление анимации Вперед Назад

Включить сбор статистики

Количество:

Для узла б имеем: буфер с неограниченной емкостью

queue6 - Queue

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Максимальная вместимость

Действие при входе^D

Действие при подходе к выходу^D

Действие при выходе^D

Разрешить уход по таймауту

Разрешить вытеснение

Приоритет заявки^D

Действие при вытеснении^D

Фигура анимации

Тип анимации

Направление анимации Вперед Назад

Включить сбор статистики

Количество:

и обслуживающий прибор с временем задержки 1/1.5 и подчиняющийся закону униформа.

delay6 - Delay

Имя: Отображать имя Исключить На верхнем уровне На презентации

Тип: Класс заявки:

Пакет:

Задержка задается Явно Как длина пути/скорость

Время задержки^D

Вместимость

Максимальная вместимость

Действие при входе^D

Действие при выходе^D

Фигура анимации

Тип анимации

Направление анимации Вперед Назад

Включить сбор статистики

Количество:

Для узла 7 имеем: источник с интенсивностью поступления заявок 0.2 подчиняющийся экспоненциальному закону распределения.

The screenshot shows the configuration window for a source named 'source7'. The 'Основные' (Main) tab is active. The 'Имя' (Name) is 'source7'. The 'Тип' (Type) is 'Source<T extends Entity>' and the 'Класс заявки' (Request Class) is 'Pak'. The 'Пакет' (Package) is 'om.xj.anylogic.libraries.enterprise'. Under 'Заявки прибывают согласно' (Requests arrive according to), the 'Интенсивности' (Intensities) radio button is selected, and the 'Время между прибытиями' (Time between arrivals) is set to 'exponential (0.2)'. The 'Количество заявок, прибывающих за один раз' (Number of requests arriving at once) is set to 1. The 'Новая заявка' (New request) is set to 'new Pak ()'. The 'Действие при выходе' (Action on exit) is empty. The 'Количество' (Quantity) field is empty.

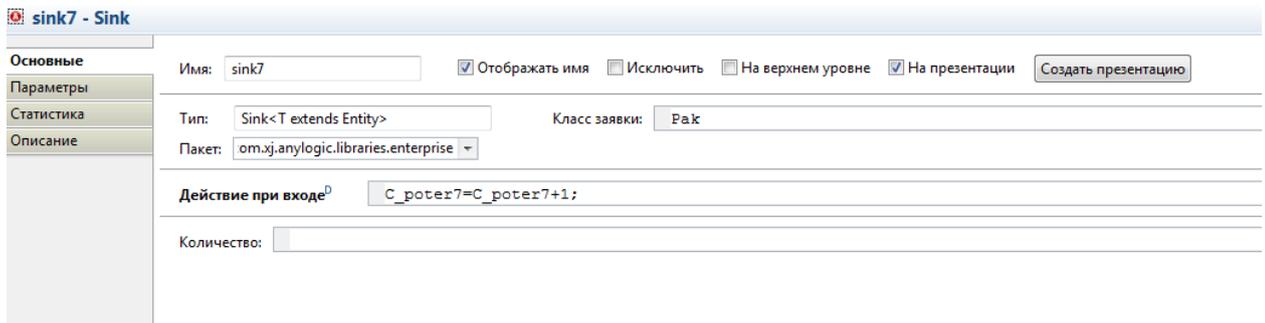
буфер с неограниченной емкостью

The screenshot shows the configuration window for a queue named 'queue7'. The 'Основные' (Main) tab is active. The 'Имя' (Name) is 'queue7'. The 'Тип' (Type) is 'Queue<T extends Entity>' and the 'Класс заявки' (Request Class) is 'Pak'. The 'Пакет' (Package) is 'om.xj.anylogic.libraries.enterprise'. Under 'Максимальная вместимость' (Maximum capacity), the checkbox is checked. The 'Действие при входе' (Action on arrival) is 'entity.t_vxod7=time (); C_vxod7=C_vxod7+1;'. The 'Действие при выходе' (Action on departure) is 't_ojid7.add (time ()-entity.t_vxod7); C_vixod7=C_vixod7+1;P_potex7=C_potex7/C_vxod7;'. The 'Разрешить вытеснение' (Allow preemption) checkbox is checked. The 'Приоритет заявки' (Request priority) is set to 0. The 'Действие при вытеснении' (Action on preemption) is empty. The 'Тип анимации' (Animation type) is 'Путь' (Path) and the 'Направление анимации' (Animation direction) is 'Вперед' (Forward). The 'Включить сбор статистики' (Enable statistics collection) checkbox is checked. The 'Количество' (Quantity) field is empty.

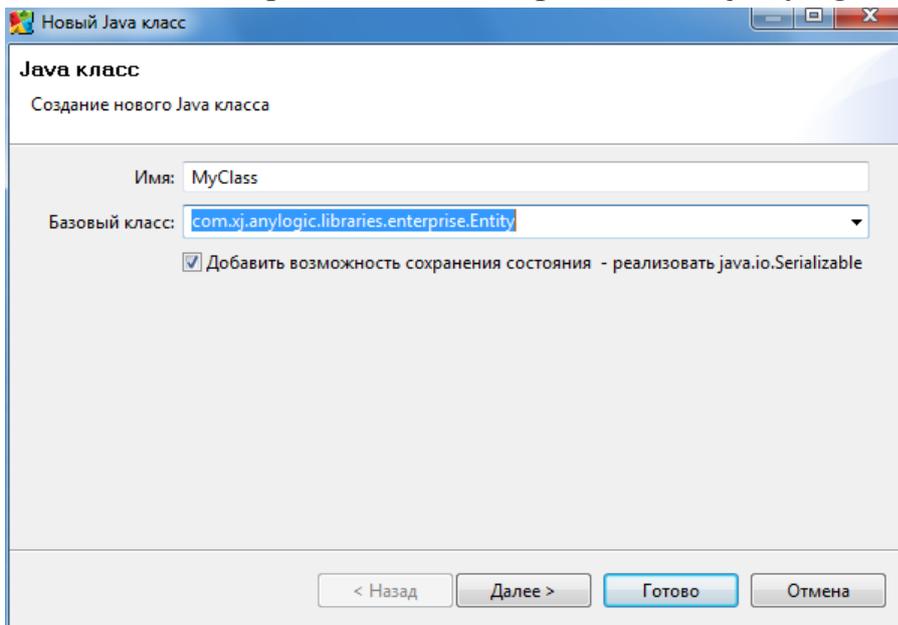
обслуживающий прибор с временем задержки 0.4 и подчиняющийся экспоненциальному закону.

The screenshot shows the configuration window for a delay named 'delay7'. The 'Основные' (Main) tab is active. The 'Имя' (Name) is 'delay7'. The 'Тип' (Type) is 'Delay<T extends Entity>' and the 'Класс заявки' (Request Class) is 'Pak'. The 'Пакет' (Package) is 'om.xj.anylogic.libraries.enterprise'. Under 'Задержка задается' (Delay is defined), the 'Явно' (Explicitly) radio button is selected. The 'Время задержки' (Delay time) is set to 'exponential (0.4)'. The 'Вместимость' (Capacity) is set to 1. The 'Максимальная вместимость' (Maximum capacity) checkbox is unchecked. The 'Действие при выходе' (Action on departure) is 'entity.t_vixod7=time ();t_zad7.add (entity.t_vixod7-entity.t_vxod7);'. The 'Тип анимации' (Animation type) is 'Путь' (Path) and the 'Направление анимации' (Animation direction) is 'Вперед' (Forward). The 'Включить сбор статистики' (Enable statistics collection) checkbox is checked. The 'Количество' (Quantity) field is empty.

и выход уничтожающий пакеты.



После ввода данных создаётся Java class в левом окне Main-Создать-Java Class при этом выбрав `com.xj.anylogic.libraries.enterprise.Entity`.



Затем выписывается следующая программа:

3.2. Листинг конфигурации для Java class.

```

Pak
*/
public class Pak extends com.xj.anylogic.libraries.enterprise.Entity
implements java.io.Serializable {

    double t_vxod1;

    double t_vxod2;

    double t_vxod3;

    double t_vxod4;

    double t_vxod5;

    double t_vxod6;

    double t_vxod7;

    double t_vixod1;

    double t_vixod2;

    double t_vixod3;

```

```

    double t_vixod4;

    double t_vixod5;

    double t_vixod6;

    double t_vixod7;

    float C_vxod1;

    float C_vxod2;

    float C_vxod3;

    float C_vxod4;

    float C_vxod5;

    float C_vxod6;

    float C_vxod7;

    float C_vixod1;

    float C_vixod2;

    float C_vixod3;

    float C_vixod4;

    float C_vixod5;

    float C_vixod6;

    float C_vixod7;

    /**
     * Конструктор по умолчанию
     */
    public Pak() {
    }

    /**
     * Конструктор, инициализирующий поля
     */
    public Pak(double t_vxod1, double t_vxod2, double t_vxod3, double
t_vxod4, double t_vxod5, double t_vxod6, double t_vxod7, double t_vixod1, double
t_vixod2, double t_vixod3, double t_vixod4, double t_vixod5, double
t_vixod6, double t_vixod7, float C_vxod1, float C_vxod2, float C_vxod3, float
C_vxod4, float C_vxod5, float C_vxod6, float C_vxod7, float C_vixod1, float
C_vixod2, float C_vixod3, float C_vixod4, float C_vixod5, float C_vixod6, float
C_vixod7) {
        this.t_vxod1=t_vxod1;
        this.t_vxod2=t_vxod2;
        this.t_vxod3=t_vxod3;
        this.t_vxod4=t_vxod4;
        this.t_vxod5=t_vxod5;
        this.t_vxod6=t_vxod6;
        this.t_vxod7=t_vxod7;
        this.t_vixod1=t_vixod1;
        this.t_vixod2=t_vixod2;
        this.t_vixod3=t_vixod3;
        this.t_vixod4=t_vixod4;
        this.t_vixod5=t_vixod5;

```

```

        this.t_vixod6=t_vixod6;
        this.t_vixod7=t_vixod7;
        this.C_vxod1=C_vxod1;
        this.C_vxod2=C_vxod2;
        this.C_vxod3=C_vxod3;
        this.C_vxod4=C_vxod4;
        this.C_vxod5=C_vxod5;
        this.C_vxod6=C_vxod6;
        this.C_vxod7=C_vxod7;
        this.C_vixod1=C_vixod1;
        this.C_vixod2=C_vixod2;
        this.C_vixod3=C_vixod3;
        this.C_vixod4=C_vixod4;
        this.C_vixod5=C_vixod5;
        this.C_vixod6=C_vixod6;
        this.C_vixod7=C_vixod7;
    }

    @Override
    public String toString() {
        return
            "t_vxod1="+t_vxod1+" "+
            "t_vxod2="+t_vxod2+" "+
            "t_vxod3="+t_vxod3+" "+
            "t_vxod4="+t_vxod4+" "+
            "t_vxod5="+t_vxod5+" "+
            "t_vxod6="+t_vxod6+" "+
            "t_vxod7="+t_vxod7+" "+
            "t_vixod1="+t_vixod1+" "+
            "t_vixod2="+t_vixod2+" "+
            "t_vixod3="+t_vixod3+" "+
            "t_vixod4="+t_vixod4+" "+
            "t_vixod5="+t_vixod5+" "+
            "t_vixod6="+t_vixod6+" "+
            "t_vixod7="+t_vixod7+" "+
            "C_vxod1="+C_vxod1+" "+
            "C_vxod2="+C_vxod2+" "+
            "C_vxod3="+C_vxod3+" "+
            "C_vxod4="+C_vxod4+" "+
            "C_vxod5="+C_vxod5+" "+
            "C_vxod6="+C_vxod6+" "+
            "C_vxod7="+C_vxod7+" "+
            "C_vixod1="+C_vixod1+" "+
            "C_vixod2="+C_vixod2+" "+
            "C_vixod3="+C_vixod3+" "+
            "C_vixod4="+C_vixod4+" "+
            "C_vixod5="+C_vixod5+" "+
            "C_vixod6="+C_vixod6+" "+
            "C_vixod7="+C_vixod7+" ";
    }

    /**
     * Это число используется при сохранении состояния модели<br>
     * Его рекомендуется изменить в случае изменения класса
     */
    private static final long serialVersionUID = 1L;

```

При моделировании сети в Any Logic используем дополнительные переменные в контексте Палитра- основные- динамические- простые переменные которые автоматически при имитации и рассчитывают

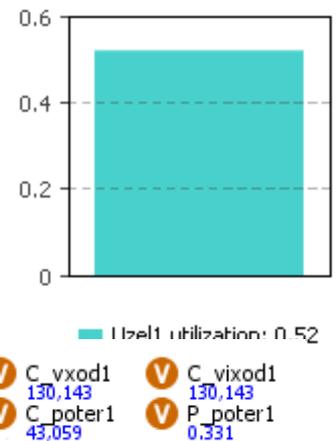
количество заявок при входе и выходе узла. Также для расчётов времени задержки и ожидания в узлах мы пользуемся тем же контекстным меню Палитра- статистика-набор данных.

3.3. Результаты полученные при имитационном моделировании.

Для узла 1.

t_ojid1		
Кол-во	130,143	
Среднее	2.269	
Мин	0	
Макс	39.571	
Среднеквадр. отклонение	3.374	
Доверит. интервал для среднего	0.018	
Сумма	295,347.579	
От	До	Плотность вероятности
0	6.4	115,832
6.4	12.8	12,047
12.8	19.2	1,876
19.2	25.6	335
25.6	32	42
32	38.4	10
38.4	44.8	1
44.8	51.2	0
51.2	57.6	0
57.6	64	0

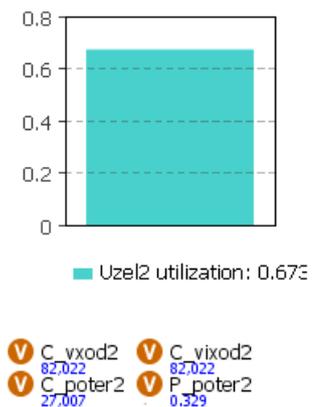
t_zad1		
Кол-во	130,142	
Среднее	6.269	
Мин	4	
Макс	43.571	
Среднеквадр. отклонение	3.374	
Доверит. интервал для среднего	0.018	
Сумма	815,913.763	
От	До	Плотность вероятности
3.6	10	114,070
10	16.4	13,519
16.4	22.8	2,130
22.8	29.2	364
29.2	35.6	48
35.6	42	10
42	48.4	1
48.4	54.8	0
54.8	61.2	0
61.2	67.6	0



Для узла 2.

t_ojid2		
Кол-во	82,009	
Среднее	10.292	
Мин	0	
Макс	153.99	
Среднеквадр. отклонение	14.926	
Доверит. интервал для среднего	0.108	
Сумма	844,074.809	
От	До	Плотность вероятности
0	16	62,963
16	32	12,021
32	48	4,331
48	64	1,734
64	80	576
80	96	222
96	112	104
112	128	43
128	144	11
144	160	4

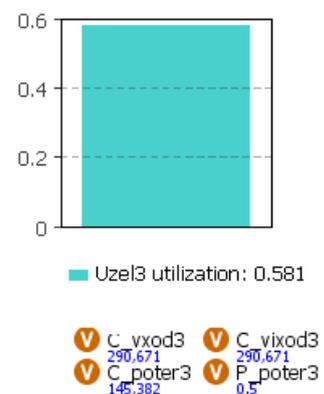
t_zad2		
Кол-во	82,008	
Среднее	15.274	
Мин	2.573E-4	
Макс	155.606	
Среднеквадр. отклонение	15.791	
Доверит. интервал для среднего	0.108	
Сумма	1,252,568.597	
От	До	Плотность вероятности
-3.1	16.1	54,066
16.1	35.3	19,563
35.3	54.5	5,753
54.5	73.7	1,854
73.7	92.9	510
92.9	112.1	183
112.1	131.3	59
131.3	150.5	16
150.5	169.7	4
169.7	188.9	0



Для узла 3.

t_ojid3		
Кол-во	229,552	
Среднее	1.368	
Мин	0	
Макс	20.295	
Среднеквадр. отклонение	1.911	
Доверит. интервал для среднего	0.008	
Сумма	314,056.379	
От	До	Плотность вероятности
0	3.2	196,494
3.2	6.4	26,573
6.4	9.6	5,355
9.6	12.8	934
12.8	16	152
16	19.2	40
19.2	22.4	4
22.4	25.6	0
25.6	28.8	0
28.8	32	0

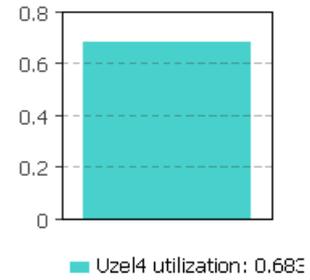
t_zad3		
Кол-во	290,670	
Среднее	3.371	
Мин	2	
Макс	22.574	
Среднеквадр. отклонение	1.918	
Доверит. интервал для среднего	0.007	
Сумма	979,717.378	
От	До	Плотность вероятности
1.9	5.1	246,614
5.1	8.3	35,275
8.3	11.5	7,193
11.5	14.7	1,328
14.7	17.9	208
17.9	21.1	47
21.1	24.3	5
24.3	27.5	0
27.5	30.7	0
30.7	33.9	0



Для узла 4.

t_ojid4		
Кол-во	195,565	
Среднее	5.326	
Мин	0	
Макс	73.791	
Среднеквадр. отклонение	7.464	
Доверит. интервал для среднего	0.033	
Сумма	1,041,588.75	
От	До	Плотность вероятности
0	8	147,822
8	16	30,218
16	24	11,083
24	32	4,129
32	40	1,517
40	48	508
48	56	180
56	64	76
64	72	30
72	80	2

t_zad4		
Кол-во	195,573	
Среднее	7.817	
Мин	3.243E-5	
Макс	75.567	
Среднеквадр. отклонение	7.88	
Доверит. интервал для среднего	0.035	
Сумма	1,528,754.545	
От	До	Плотность вероятности
0	8	125,781
8	16	44,412
16	24	15,917
24	32	6,052
32	40	2,209
40	48	783
48	56	261
56	64	105
64	72	46
72	80	7

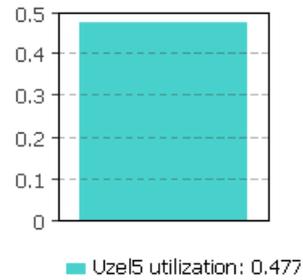


V C_vxod4 195,580
V C_vixod4 195,574
V C_potер4 131,089
V P_potер4 0.67

Для узла 5.

t_ojid5		
Кол-во	40,701	
Среднее	3.301	
Мин	0	
Макс	54.727	
Среднеквадр. отклонение	5.665	
Доверит. интервал для среднего	0.055	
Сумма	134,356.946	
От	До	Плотность вероятности
0	6	32,210
6	12	5,200
12	18	1,957
18	24	811
24	30	326
30	36	137
36	42	38
42	48	17
48	54	3
54	60	2

t_zad5		
Кол-во	40,707	
Среднее	8.25	
Мин	0.036	
Макс	60.499	
Среднеквадр. отклонение	6.645	
Доверит. интервал для среднего	0.065	
Сумма	335,841.408	
От	До	Плотность вероятности
-3.8	5.8	18,409
5.8	15.4	17,093
15.4	25	4,036
25	34.6	921
34.6	44.2	203
44.2	53.8	41
53.8	63.4	4
63.4	73	0
73	82.6	0
82.6	92.2	0

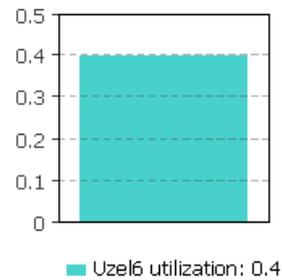


V C_vxod5 40,710
V C_vixod5 40,708
V C_potер5 0
V P_potер5 0

Для узла 6.

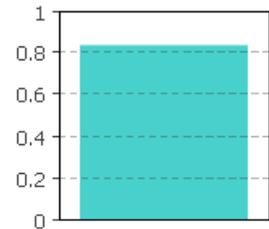
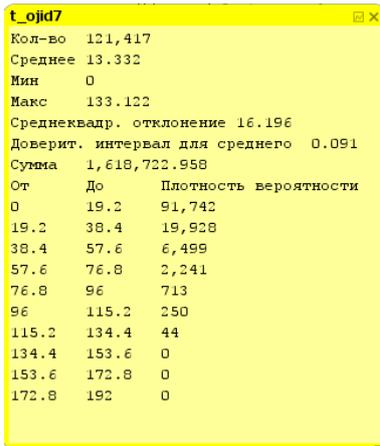
t_ojid6		
Кол-во	95,217	
Среднее	0.574	
Мин	0	
Макс	10.985	
Среднеквадр. отклонение	1.075	
Доверит. интервал для среднего	0.007	
Сумма	54,642.77	
От	До	Плотность вероятности
0	1.6	81,412
1.6	3.2	10,323
3.2	4.8	2,555
4.8	6.4	717
6.4	8	168
8	9.6	34
9.6	11.2	8
11.2	12.8	0
12.8	14.4	0
14.4	16	0

t_zad6		
Кол-во	95,224	
Среднее	2.072	
Мин	6.93E-5	
Макс	12.615	
Среднеквадр. отклонение	1.381	
Доверит. интервал для среднего	0.009	
Сумма	197,324.885	
От	До	Плотность вероятности
-1.5	0.1	2,035
0.1	1.7	38,766
1.7	3.3	40,876
3.3	4.9	9,660
4.9	6.5	2,880
6.5	8.1	766
8.1	9.7	196
9.7	11.3	38
11.3	12.9	7
12.9	14.5	0



V C_vxod6 95,226
V C_vixod6 95,225
V C_potер6 0
V P_potер6 0

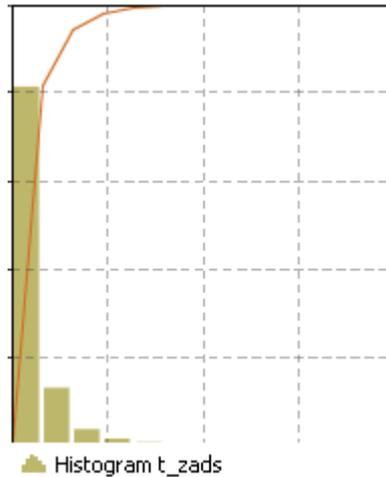
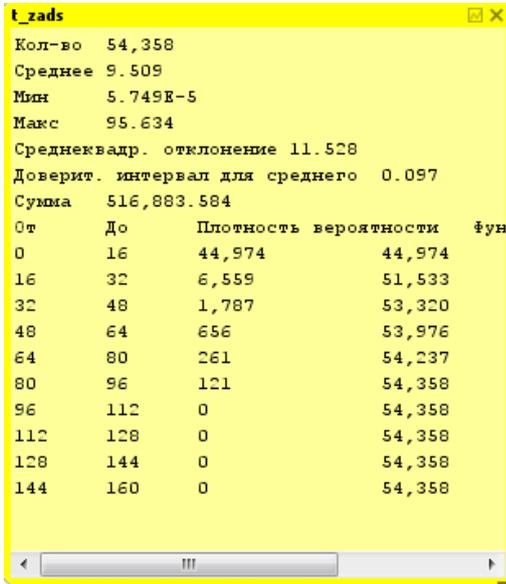
Для узла 7.



Uzel7 utilization: 0.835

V C_vxod7 121.442
V C_poter7 81.549
V C_vixod7 121.433
V P_potер7 0.672

Сетевые характеристики:



V n 104,049
V psd 0.208
V nsd 21,655

Результаты имитационного моделирования в виде таблице.

Узловые характеристики	Узел1 M/D/1	Узел2 M/M/1	Узел3 M/D/1	Узел4 M/M/1	Узел5 M/E2/1	Узел6 M/U/1	Узел7 M/M/1
Загрузка	<u>0.52</u>	<u>0.67</u>	0.58	<u>0.68</u>	<u>0.48</u>	<u>0.4</u>	<u>0.83</u>
Коэффициент простоя	<u>0.48</u>	<u>0.33</u>	0.42	<u>0.32</u>	<u>0.52</u>	<u>0.6</u>	<u>0.17</u>
Ср. время ожидания	<u>2.3</u>	10.3	<u>1.4</u>	5.3	<u>3.3</u>	<u>0.6</u>	13.3
Ср. время прибывания	6.3	15.3	<u>3.4</u>	7.8	<u>8.2</u>	<u>2.1</u>	16.4

Сетевые характеристики	<i>Суммарная загрузка в сети</i>	<i>Среднее число заявок в сети</i>	<i>среднее время пребывания заявок в сети</i>
	4.16	21	10.2

Результаты аналитического расчёта в виде таблицы.

Узловые характеристики	Узел1 M/D/1	Узел2 M/M/1	Узел3 M/D/1	Узел4 M/M/1	Узел5 M/E ₂ /1	Узел6 M/U/1	Узел7 M/M/1
Загрузка	<u>0.56</u>	<u>0.63</u>	0.68	<u>0.72</u>	<u>0.5</u>	<u>0.43</u>	<u>0.75</u>
Коэффициент простоя	<u>0.44</u>	<u>0.37</u>	<u>0.32</u>	<u>0.28</u>	<u>0.5</u>	<u>0.57</u>	<u>0.25</u>
Ср. время ожидания	<u>1.3</u>	5.2	<u>2.1</u>	6.4	<u>5</u>	<u>0.57</u>	7.5
Ср. время прибытия	2.3	8.9	<u>4.1</u>	8.9	<u>7</u>	<u>2.1</u>	10

Сетевые характеристики	<i>Суммарная загрузка в сети</i>	<i>среднее число заявок, находящихся в очередях</i>	<i>Среднее число заявок в сети</i>	<i>среднее время ожидания заявок в сети</i>	<i>среднее время пребывания заявок в сети</i>
	4.27	7.8	12	3.9	8.2

Вывод. Анализируя курсовую работу посвященную аналитической и имитационной моделированию сети передачи данных непосредственно можно выделить тот факт, что при расчете узлов СеМО с немарковскими моделями, показывает, что теоретические решения, полученные алгоритмическими расчётами в некоторых узлах полностью совпадают с полученными результатами путём имитационного моделирования. Так например для узла 6 (M/D/1 в котором среднее время обслуживание прибором подчиняется равномерному закону распределению) узловые характеристики (загрузка, среднее время ожидания в очереди, среднее время пребывания в систему) совпадают, что можно сказать и в узле 5 (M/E₂/1) . Напротив, в узлах где среднее время обслуживания прибором подчиняется марковскому (экспоненциальному) закону распределения теоретические расчёты узловых характеристик не полностью совпадают со значениями имитационного моделирования. Это позволяет считать, что в этих узлах этапы обслуживания независимы между собой и не зависят ни от параметров входящего потока, ни от состояния сети, ни от маршрутов следования требований.

В целом сетевые характеристики вытекающие непосредственно от узловых характеристик имеют не совсем схожие результаты, так как в сетях с количеством узлов не менее двух необходимо проследивать путь каждого требования приближенного метода расчёта, что делает невозможным аналитический расчет характеристики для сети.

Список литературы

1. Т.И.Алиев. Основы моделирования дискретных систем.- С.Питербург.: 363 с. 2009 г.
2. В.Д.Боев, Д.И. Кирик, Р.П. Сыпченко. Компьютерное моделирование. Пособие для курсового и дипломного проектирования. — СПб.: ВАС, 2011. — 348 с.
3. Воловач В.И. Учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта по дисциплине «Распределенные программно-информационные системы» для студентов направления 231000.68 «Программная инженерия»