МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
НУКУС ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕЕНИМ МУХАММЕДА АЛЬ-ХОРЕЗМИЙ

Кафедра «Телекоммуикационный инжиниринг»

Дисциплина «Моделирование и симуляция в системе связи»

КУРСАВОЙ ПРОЕКТ

Тема: моделирование и проектированные в системе связи

Подготовил: Сеитниязов А

Принял: ________________

Нукус 2018 г

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение

Моделирование – сложнейший многоэтапный процесс исследованиясистем, направленный на выявление свойств и закономерностей, присущих исследуемым системам, с целью их создания или модернизации. Впроцессе моделирования решается множество взаимосвязанных задач,основными среди которых являются разработка модели, анализ свойств ивыработка рекомендаций по модернизации существующей илипроектированию новой системы.

Внедрение новых телекоммуникационных и информационных технологий способствует дальнейшему развитию моделирования сетей и систем телекоммуникации. Увеличилось многообразие моделей, используемых при проектировании и исследовании, поэтому их изучение является актуальным при подготовке специалистов.

При аналитическом моделировании математическая модель реализуется в виде такой системы уравнений относительно искомых величин, которая допускает получение нужного результата аналитически (в явном виде) или численным методом. В некоторых случаях аналитическое описание системы становится чрезмерно сложным, что затрудняет получение требуемых результатов. В данной ситуации следует переходить к использованию имитационных моделей.

Имитационная модель в принципе позволяет воспроизвести весь процесс функционирования сети с сохранением логической структуры, связи между явлениями и последовательность протекания их во времени.

При имитационном моделировании на компьютере имитируется работа проектируемой системы. Математическая модель при этом реализуется в виде программы для компьютера. В результате экспериментов на компьютере собирается статистика, обрабатывается и выдается необходимая информация.

Известны достаточно большое количество методовпостроения математических моделей и средств реализации моделирующих алгоритмов. Наиболее распространенными из них являются системы и сети массового обслуживания.

В настоящее время в имитационном моделировании выделяют три подхода: системной динамики, дискретно-событийный и агентный. Из этих подходов в рамках многих дисциплин изучается дискретно-событийный подход, обеспечивающий универсальность и эффективность имитационного моделирования. Он ориентирован на исследование широкого класса сложных систем, представленных в виде систем массового обслуживания.

Целью курсового проекта является освоение практических методованалитического и имитационного моделирования сетей передачи данных.

I. Основные теоретические сведения

Системой массового обслуживания (СМО) называется система, процесс функционирования которой является, по сути, процессом обслуживания, который состоит в предоставлении той или иной услуги, определяемой из функционального назначения системы.

Для формализации любой СМО необходимо описать:

- процесс поступления заявок в систему;
- процесс обслуживания заявок в системе;
- дисциплину обслуживания.

Модели потока требований

Поступающие на вход системы массового обслуживания требования (заявки, запросы) образуют поток дискретных событий, полностью определяемый множеством моментов времени их поступления $\Xi = \{t_n\}$. Для детерминированного потока значения t_n задаются таблицей или формулой. На практике этот поток случайный и значения моментов поступления запросов есть значения случайной величины, задаваемой функциями распределения вероятности t_n, либо интервала между поступлениями Δt:

$$\tau = t_n - t_{n-1}.$$

В зависимости от вида функции распределения вероятности потоки требований наделяют соответствующими названиями. В общем случае случайные потоки можно классифицировать по наличию или отсутствию трех основных свойств: стационарности, последействия и ординарности.

Стационарность - независимость вероятностных характеристик от времени. Так вероятность поступления определенного числа требований в интервал времени длиной t для стационарных потоков не зависит от выбора начала его измерения.

Последействие - вероятность поступления требований в интервале (t_1, t_2) зависит от событий, произошедших до момента t_1.

Ординарность - вероятность поступления двух и более требований за бесконечно малый интервал времени Δt есть величина бесконечно малая более высокого порядка, чем Δt.

К основным характеристикам случайных потоков относят интенсивность потока.

Пуассоновский (простейший) поток запросов

Стационарный ординарный поток без последействия называют простейшим. Он задается набором вероятностей $P_i(t)$ поступления i требований в промежутке длиной t.

Можно показать, что при этих предположениях формула для $P_i(t)$ дается *формулой Пуассона (Poisson)*:

$$P_i(t) = \left[(\lambda t)^i / i! \right] e^{-\lambda t}.$$

Если рассмотреть закон распределения вероятностей промежутка между поступлением соседних требований τ, то можно показать, что

$$P(\tau \le t) = 1 - P_0(t) = 1 - e^{-\lambda t}.$$

Дифференцируя, получаем плотность распределения вероятностей:

$$p(t) = \lambda e^{-\lambda t}.$$

Случайная величина с такой плотностью вероятностей называется *экспоненциально - распределенной* (с показательным распределением). Математическое ожидание экспоненциально распределенной случайной величины равно:

$$M\langle\tau\rangle=\bar{\tau}=\int_0^{\infty} tp(t)dt=\int_0^{\infty} t\lambda\, \mathrm{e}^{-\lambda t}\, dt=1/\lambda\ ,$$

а дисперсия и среднеквадратическое отклонение соответственно будут равны:

$$D\langle\tau\rangle=\int_0^{\infty} t^2 p(t)dt-\overline{\tau^2}=\int_0^{\infty} t^2\lambda e^{-\lambda t}dt-1/\lambda^2=1/\lambda^2,$$

$$\sigma_\tau=\sqrt{D\langle\tau\rangle}=1/\lambda\ .$$

Коэффициент вариации равен:

$$\nu_a=\frac{\sigma}{M(\tau)}=1.$$

Процесс обслуживания

По аналогии с процессами поступления заявок в систему для описания процессов обслуживания необходимо задать функцию распределения $B_k(t)$ длительности обслуживания для каждой k-й заявки (k = 1, 2, 3, ...), которая в общем случае является случайной величиной. При этом под длительностью обслуживания $\tau_в$ понимается промежуток времени, в течение которого заявка находится в обслуживающем приборе. Далее будем считать, что все заявки создают статистически однородную нагрузку, т.е. длительности обслуживания всех заявок распределены по одному и тому же закону:

$$B_k(t)\equiv B(t)=\Pr\{\tau_b\le t\},\ \ k=1,\,2,\,3,\,...$$

Важной характеристикой процесса обслуживания является интенсивность обслуживания μ, характеризующая среднее число заявок, обслуживаемых системой в единицу времени.

Величина b, обратная интенсивности μ (b=1/μ), определяет среднее время обслуживания одной заявки.

Как и в случае интервалов поступления, если функция распределения $B(t)$ неизвестно, то для многих приложений (теоретических и практических) оказывается достаточным определить интенсивность обслуживания μ (или среднее время обслуживания b)и коэффициент вариации$\nu_в$длительности обслуживания. Если длительность обслуживания распределена по экспоненциальному закону, то достаточно задать интенсивность обслуживания μ (или среднее время обслуживания b). Следует отметить, что, в отличие от интервалов поступления заявок, отказ от экспоненциального характера распределения длительности их обслуживания не столь усложняет задачу аналитического исследования СМО, и многие содержательные результаты получены при произвольном характере распределения времени обслуживания.

Дисциплина обслуживания

Дисциплиной обслуживания (ДО) называется правило, по которому выбираются на обслуживание заявки из очереди. Различают следующие ДО:

1) обслуживание в порядке поступления или дисциплина FIFO (FirstInput, FirstOutput — первым пришел, первым ушел);

2) обслуживание в обратном порядке или дисциплина LIFO (LastInput, FirstOutput — последним пришел, первым ушел);

3) обслуживание в случайном порядке, когда заявка на обслуживание выбирается случайно среди ожидающих заявок.

В дальнейшем в качестве ДО будем рассматривать ДО FIFO.

Таким образом, для описания СМО необходимо задать:

1) функцию распределения $A(t)$интервалов поступления (общий случай) или интенсивность поступления λ (или средний интервалa=1/λ) и коэффициент вариацииν_a интервалов поступления;

2) функцию распределения $B(t)$ длительности обслуживания (общий случай) или интенсивность обслуживания μ (или среднее время обслуживания b=1/μ) и коэффициент вариации $\nu_{в}$ времени обслуживания;

3) дисциплина обслуживания (ДО FIFO).

Следует отметить, что на практике СМО описывается, как правило, путем определения совокупности параметров $\{\lambda, \nu_a\}$ и $\{\mu, \nu\}$, считая, что ДО по умолчанию является дисциплина FIFO. Более того, если интервалы поступления или длительности обслуживания распределены по экспоненциальному закону, то нет необходимости задать и соответствующий коэффициент вариации, т.к. в таком случае он равен 1.

Характеристики СМО

1) Загрузка системы — это отношение интенсивности поступления λ к интенсивности обслуживания μ и обозначается через ρ:

$$\rho=\lambda/\mu=\lambda b=b/a,$$

Где a=1/λ и b=1/μ – средние значения интервалов поступления и длительности обслуживания соответственно.

Значение загрузки определяет условие существования в системе стационарного режима. Необходимым и достаточным условием существования встохастической СМО стационарного режима является условие, когда $\rho<1$или $\lambda<\mu$. Выполнение этого условия означает, что система в среднем справляется с поступающей нагрузкой. Если $\rho\geq 1$, то система работает в режиме перегрузок.

3) Время ожидания — это, как правило, случайное время, которое заявка проводит в очереди в состоянии ожидания. Среднее значение этого времени, которое представляет наибольший интерес, обозначается через ω.

4) Время пребывания — это случайный промежуток времени от момента поступления заявки в систему до момента окончания ее обслуживания. Для среднего значения u времени пребывания справедливо равенство:

$$u=\omega+b.$$

5) Среднее число заявок в очереди или средняя длина очереди

$$l=\lambda\omega.$$

6) Среднее число заявок m, находящихся в системе, складывается из средних значений числа заявок, находящихся в очереди (l) и в приборе (ρ):

$$m=l+\rho=\lambda\omega+\lambda b=\lambda(\omega+b)=\lambda u$$

Формулы $\rho=\lambda b$, $l=\lambda\omega$ и $m=\lambda u$ называются формулами Литтла соответственно для прибора, очереди и системы в целом.

Зная среднее число заявок в системе (m) и в очереди (l), соответствующие временные характеристики можно определить по формуле Литтла:

$$u=m/\lambda \quad \text{и} \quad \omega=l/\lambda=u-b.$$

Полученные соотношения взаимосвязи между характеристиками функционирования системы справедливы при любых законах распределений интервалов поступления и длительности обслуживания заявок и таким образом носят фундаментальный (универсальный) характер. Единственное требование — это требование, чтобы система была без отказов, т.е. емкость накопителя была не ограничена.

Обозначения СМО (символика Кендалла)

Для компактного описания систем массового обслуживания часто используются обозначения, предложенные Д. Кендаллом, в виде[1-3]:

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,...,);L– число мест в накопителе, которое может принимать значения 0, 1, 2, … (отсутствие Lозначает, что накопитель имеет неограниченную ёмкость).

Для задания законов распределенийAи Виспользуются следующие обозначения:

G *(General)* – произвольное распределение общего вида;

M *(Markovian)* – экспоненциальное (показательное) распределение;

D *(Deterministik)* – детерминированное распределение;

U *(Uniform)* – равномерное распределение;

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

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

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

g *(gamma)* – гамма-распределение;

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

Примеры:

M/M/1 – одноканальная СМО с накопителем неограниченной ёмкости, в которую поступает однородный поток заявок с экспоненциальным распределением интервалов времени между последовательными заявками (простейший поток) и экспоненциальной длительностью обслуживания заявок в приборе.

M/G/3/10– трёхканальная СМО с накопителем ограниченной ёмкости, равной 10, в которую поступает однородный поток заявок с экспоненциальным распределением интервалов времени между последовательными заявками (простейший поток) и длительностью обслуживания заявок, распределённой по закону общего вида.

D/$\mathbf{E_2}$**/7/0**– семиканальная СМО без накопителя (ёмкость накопителя равна 0), в которую поступает однородный поток заявок с детерминированными интервалами времени между последовательными заявками (детерминированный поток) и длительностью обслуживания заявок в приборе, распределённой по закону Эрланга 2-го порядка.

Для обозначения более сложных СМО дополнительно могут использоваться обозначения, описывающие неоднородный поток заявок и приоритеты между заявками разных классов.

Характеристики сетей массового обслуживания (СеМО)

При исследовании сети необходимо задавать топологическую структуру сети, так как она определяет возможные переходы заявок между узлами. Требуется также описать маршруты отдельных заявок и вероятностные модели потоков заявок между узлами сети.

Пусть сеть содержащую n узлов.В каждый узел извне поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью γ_i. Покидая i-узел, заявка с вероятностью p_{ij} поступает в j узел.

Обозначим λ_i полную интенсивность потока, поступающего в i-й узел, можно показать, что должно выполняться условие баланса:

$$\lambda_i = \gamma_i + \sum_{j=1}^{n} \lambda_j p_{ij}\,,\ i = 1,2,\ldots n.$$

Вероятность, того, что заявка после обслуживания в i-том узле вообще покинет сеть будет равна $1 - \sum_{j=1}^{n} p_{ij}$.

Выполнение условия эргодичности марковской модели каждого узла будет обеспечено, если $\lambda_i < \mu_i$.

Джексоном было доказано далеко не тривиальное утверждение, что каждый узел в сети ведет себя так, как если бы он был независимой СМО типа M/M/m с входящим пуассоновским потоком λ_i . В общем случае полный входящий поток не является пуассоновским. Состояние сети с n узлами описывается вектором, компонентами которого являются число заявок в каждом из узлов сети $(k_1, k_2, \ldots k_n)$.

Джексону удалось доказать, что стационарная вероятность этого состояния разлагается в произведение безусловных распределений:

$$p(k_1, k_2, \ldots k_n) = p_1(k_1) p_2(k_2) \ldots p_N(k_n).$$

Исследование сети с помощью изложенной здесь методики приводит к громоздким системам уравнений для определения интенсивностей входных потоков. Исследованиями было показано, что для получения многих результатов можно, вместо условий глобального равновесия для сети в целом применять условия локального равновесия для отдельных подсистем, что позволяет сильно упростить задачу.

Для описания *линейных разомкнутых и замкнутых однородных экспоненциальных*сетей массового обслуживанияиспользуется следующая совокупность параметров[3]:

- ✓ *число узлов* в сети: n;
- ✓ *число обслуживающих приборов* в узлах сети: $K_1,...,K_n$;
- ✓ *матрица вероятностей передач*: P= [$p_{ij}|i,\ j = 0,1,..,n$] , где p_{ij}– вероятность передачи заявки из узла i в узел j;
- ✓ *интенсивность* λ_0 источника заявок, поступающих в разомкнутуюСеМО (РСеМО), или *число заявок М*, циркулирующих в замкнутойСеМО (ЗСеМО);
- ✓ средние *длительности обслуживания* заявок в узлах сети: $b1,..,bn$.

Для *линейных* СеМО элементы матрицы вероятностей передачдолжны удовлетворять условию:

$$\sum_{i=0}^{n} p_{ij} = 1 \; (j = \overline{0,n}).$$

Это условие отражает тот факт, что любая заявка, покинувшаянекоторый узел, обязательно (с вероятностью 1) перейдёт в какой-то узел,включая тот же самый или нулевой. Переход заявки в нулевой узелозначает, что заявка покинула сеть.

На основе узловых характеристик рассчитываются сетевыехарактеристики СеМО:

-суммарная загрузкавсех узлов СеМО, характеризующаясреднее число параллельно работающих узлов сети:

$$R = \sum_{i=1}^{n} \rho_i \;,$$

где ρ_i – загрузка узла i.

-среднее число заявок, находящихся в очередях всех узлов сети иожидающих обслуживания:

$$L = \sum_{i=1}^{n} l_i \;,$$

где l_i – средняя длина очереди заявок в узле i;

- среднее число заявок, находящихся в сети:

$$M = \sum_{i=1}^{n} m_i \;,$$

где m_i – среднее число заявок в узле i.

-среднее время ожидания заявок в сети:

$$W = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i w_i \,,$$

где w_i– среднее время ожидания заявок в узлеi; α_i– коэффициент передачи для узла i, показывающий среднее число попаданий заявки в узел iза время её нахождения в сети.

-среднее время пребывания заявок в сети:

$$U = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i u_i$$

II. Задание к курсовому проектированию

Преподаватель формирует и выдает индивидуальное задание каждому магистранту. В задании указываются следующие исходные данные:

1. Топология сети и матрица вероятностей передачи пакетов.
2. Вектор интенсивностей внешних входящих потоков в узлах.
3. Типы математических моделей узлов сети.
4. Среда имитационного моделирования.

Вариант №5

таблица-1

1. Топология сети и матрица вероятностей передачи пакетов:

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

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

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

таблица-2

2. Вектор интенсивностей внешних входящих потоков в узлах:

Интенсивность внешнего входящего потока пакетов (пакет/сек.)	Узлы						
	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma * 10^6$	0.12	0.1	0.1	0.14	0.12	0	0

3. Типы математических моделей узлов сети:

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

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

4. Среда имитационного моделирования: AnyLogic.

3. Аналитическое моделирование сети передачи данных

3.1. Составление графа топологии сети

Исходя из исходных данных видно (табл.1), что в сети имеются 4 активных узла.

На основании данных матрицы вероятностей (табл.1) построим граф топологии сети (рис. 1). На рис.1 внесем величины интенсивностей внешних входящих потоков в узлах (табл.2).

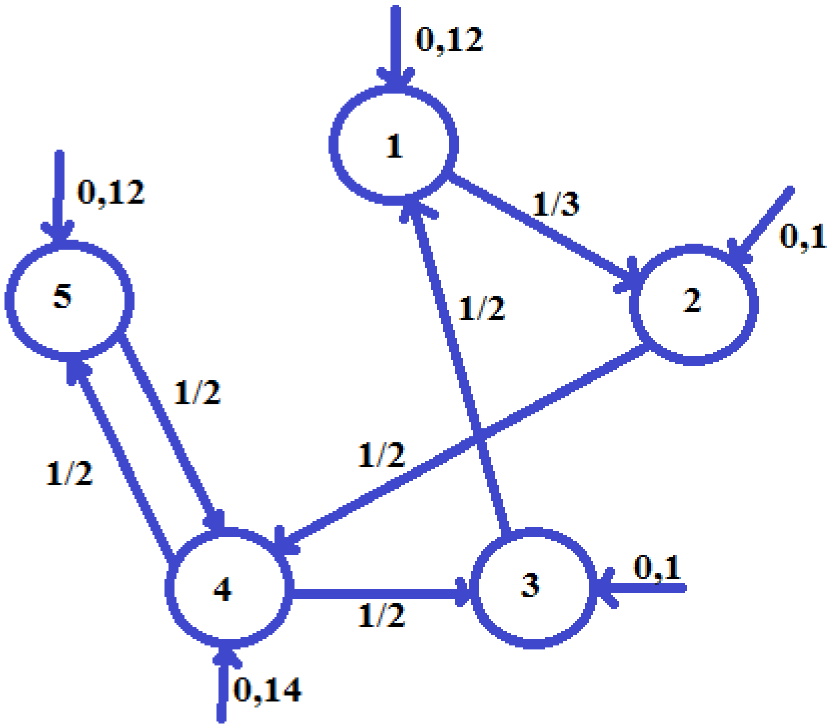


Рис.1. Топология сети.

Расчёт вероятности пакетов из каждого узла

1узел *1- 1/3=2/3*

2узел *1-1/2=1/2*

3узел *1- 1/2=1/2*

4узел *1-1/2=1/2*

5узел *1-1/2=1/2*

3.2. Решение уравнения баланса интенсивностей

На основании графа топологии сети составляем уравнение баланса интенсивностей:

$$\lambda_1 = 0.12 + \frac{1}{2}\lambda_3$$
$$\lambda_2 = 0.1 + \frac{1}{3}\lambda_1$$
$$\lambda_3 = 0.1 + \frac{1}{2}\lambda_4$$
$$\lambda_4 = 0{,}14 + \frac{1}{2}\lambda_2 + \frac{1}{2}\lambda_5$$
$$\lambda 5 = 0.12 + \frac{1}{2}\lambda_4$$

Решая уравнения баланса интенсивностей методом Гаусса, находим интенсивности поступления пакетов в узлах сети:

$\boldsymbol{\lambda_1 = 0,268}$	$\boldsymbol{\lambda_2 = 0,188}$	$\boldsymbol{\lambda_3 = 0,296}$	$\boldsymbol{\lambda_4 = 0,392}$	$\boldsymbol{\lambda_5 = 0,316}$

3.3.Определение коэффициентов передачи узлов

Формула для определения коэффициента передачи узлов:

$$\alpha_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=0}^{n} \lambda_i}$$

Суммарная интенсивность поступления пакетов в сети (расчеты выполнены магистром Валиевой Л.Р.):

$$\lambda = 0,268 + 0,188 + 0,296 + 0,392 + 0,316 = 1,46$$

Коэффициенты передачи узлов:

$\alpha_1 = 0,268/\ 1,46 = 0,135$

$\alpha_2 = 0,188\ /\ 1,46 = 0,257$

$\alpha_3 = 0,296\ /\ 1,46 = 0,191$

$a_4 = 0,392/1,46 = 0,123$

$\alpha_5 = 0,316\ /1,46 = 0,318$

3.4. Определение характеристик узлов

Узел 1

Модель узла: **M/M/1** $\lambda_1 = 0{,}268$ $b_1 = 0{,}9$

1. Определение загрузки узла $\rho_1 = \lambda_1 b_1 = 0{,}268 * 0{,}9 = 0{,}241$
2. Коэффициент простоя узла: $\eta = 1 - \rho = 1 – 0{,}241 = 0{,}759$
3. Время ожидания: $w = \rho b / (1-\rho) = 0{,}286$
4. Среднее время пребывания
   в системе: $u = w + b = 0{,}286 + 0{,}9 = 1{,}186$
5. Средняя длина очереди заявок: $l = \lambda w = 0{,}268 * 0{,}286 = 0{,}077$
6. Среднее число заявок в системе: $m = \lambda u = 0{,}268 * 1{,}186 = 0{,}318$

Узел 2

Модель узла: **M/U/1**

Интенсивность поступления пакетов: $\lambda_2 = 0{,}188$

Среднее время обслуживания: $b_2 = 0{,}8$

Коэффициент вариации узла: $v = (b-a)/(\sqrt{3}(a+b))$

Возьмем значения $b=1$ и $a=0{,}5$: $v = (1-0{,}5)/(\sqrt{3}(1+0{,}5)) = 0{,}193$

1. Загрузка узла: $\rho_2 = \lambda_2 b_2 = 0{,}188 * 0{,}8 = 0{,}15$
2. Коэффициент простоя узла: $\eta = 1 - \rho = 1 - 0{,}15 = 0{,}85$
3. Время ожидания: $w = \lambda b^2(1 + v^2)/2(1 - \rho) = 0{,}074$
4. Среднее время пребывания
   в системе: $u = w + b = 0{,}074 + 0{,}8 = 0{,}874$
5. Средняя длина очереди заявок: $l = \lambda w = 0{,}188 * 0{,}074 = 0{,}014$
6. Среднее число заявок в системе: $m = \lambda u = 0{,}188 * 0{,}874 = 0{,}164$

Узел 3

Модель узла: **M/D/1**

Интенсивность поступления пакетов: $\lambda_3 = 0,296$

Среднее время обслуживания $b_3 = 0,6$

1. Определение загрузки узла: $\rho_3 = \lambda_3 b_3 = 0,296 * 0,6 = 0,896$
2. Коэффициент простоя узла: $\eta = 1 - \rho = 1 – 0,896 = 0,104$
3. Время ожидания: $w = \lambda b^2/2\ (1-\rho) = =0,51$
4. Среднее время пребывания в системе: $u = w + b = 0,51 + 0,6 = 1,11$
5. Средняя длина очереди заявок: $l = \lambda w = 0,296 * 0,51 = 0,151$
6. Среднее число заявок в системе: $m = \lambda u = 0,296 * 1,11 = 0,33$

Узел 4

Модель узла: **M/M/1** $\lambda_4 = 0,392$ $b_2 = 0,9$

1. Определение загрузки узла $\rho_4 = \lambda_4 b_4 = 0,392 * 0,9 = 0,103$
2. Коэффициент простоя узла: $\eta = 1 - \rho = 1 – 0,353 = 0,647$
3. Время ожидания: $w = \rho b/\ (1-\rho) = 0,491$
4. Среднее время пребывания в системе: $u = w + b = 0,491 + 0,9 = 1,391$
5. Средняя длина очереди заявок: $l = \lambda w = 0,392 * 0,491 = 0,192$
6. Среднее число заявок в системе: $m = \lambda u = 0,392 * 1,391 = 0,545$

Узел 5

Модель узла: **M/E$_2$/1**

Интенсивность поступления пакетов: $\lambda_5 = 0{,}316$

Среднее время обслуживания: $b_5 = 0{,}7$ $k = 2$

Коэффициент вариации узла: $v = 1/\sqrt{k} = 1/\sqrt{2} = 0{,}707$

1. Определение загрузки узла $\rho_5 = \lambda_5 b_5 = 0{,}316 * 0{,}7 = 0{,}223$
2. Коэффициент простоя узла: $\eta = 1 - \rho = 1 – 0{,}223 = 0{,}777$
3. Время ожидания: $w = \lambda b^2(1 + v^2)/2(1 - \rho) = 0{,}15$
4. Среднее время пребывания в системе: $u = w + b = 0{,}15 + 0{,}7 = 0{,}85$
5. Средняя длина очереди заявок: $l = \lambda w = 0{,}316 * 0{,}15 = 0{,}048$
6. Среднее число заявок в системе: $m = \lambda u = 0{,}316 * 0{,}85 = 0{,}271$

Характеристики узлов сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Сводная таблица характеристик узлов

Узлы		1	2	3	4	
Модель узла / Рассчитываемая величина		**M/M/1**	**M/U/1**	**M/D/1**	**M/M/1**	**M/E$_2$/1**
1	2	3	4	5	6	7
Интенсивность поступления заявок	λ	0.268	0,188	0,296	0,392	0,316
Время между соседними заявками	$a = 1/\lambda$	3,73	5,32	3,38	2,55	5,16
Средняя длительность обслуживания заявок в узлах	b	0,9	0,8	0,6	0,9	0,7
Коэффициент передачи узлов	$\alpha = \lambda/\Sigma\lambda$	0,183	0,129	0,203	0,268	0,216
Загрузка узла	$\rho = \lambda b$	0,268	0,15	0,896	0,353	0,223

Интенсивность обслуживания	$\mu = 1/b$	1,11	1,25	1,67	1,11	1,43
Коэффициент простоя	$\eta = 1-\rho$	0,759	0,85	0,896	0,647	0,777
1	2	3	4	5	6	
Коэффициент вариации	v		$v = (b-a)/\sqrt{3}(a+b)$ $b=1,\ a=0.5$			$v = 1/\sqrt{k}$ $k=2$
		1	0.193	0	1	0,707
Время ожидания	w	$w = \lambda b/2(1-p)$	$w = \lambda b^2(1+v^2)/2(1-p)$	$w = \lambda b^2/2(1-p)$	$w = \lambda b/2(1-p)$	$w = \lambda b^2(1+v^2)/2(1-p)$
		0,286	0,074	0,51	0,491	0,15
Среднее время пребывания заявок в системе	$u = w+b$	1,186	0,874	1,11	1,391	0,85
Средняя длина очереди заявок	$l = \lambda w$	0,077	0,014	0,151	0,192	0,048
Среднее число заявок в системе	$m = \lambda u$	0,318	0,164	0,33	0,545	0,271

3.5. Определение характеристик сети

1. Суммарная загрузка сети: $R = 0.241+0.15+0.896+0.353+0.223=1.863$
2. Среднее число заявок, находящихся в очереди: $L = 0.077+0.014+0.151+0.192+0.048=0.482$
3. Среднее число заявок, находящихся в сети: $M = 0.318+0.164+0.33+0.545+0.271=1.628$
4. Среднее время ожидания: $W=0.052+0.01+0.103+0.131+0.032=0.328$
5. Средне время пребывания заявок в сети: U = 0.217+0.113+0,225+0.373+0.185=1.118

4. Симуляция сетей передачи данных

4.1 Формирование структуры сети в среде AnyLogic

Графическая среда моделирования AnyLogic поддерживает проектирование, разработку, документирование модели, выполнение компьютерных экспериментов с моделью, включая различные виды анализа[4].

Однако разработка реально полезных моделей всегда требует использования в той или иной степени программного кода. Необходимость программирования при разработке моделей является одной из основных проблем, затрудняющих освоение имитационного моделирования. Это требование является свойством всех инструментов моделирования: в любом из них для разработки серьёзной модели требуется использование встроенного в этот симулятор языка программирования – либо специализированного языка, либо одного из универсальных языков программирования, с которым интегрирован симулятор.

В AnyLogic базовым языком, совмещённым со средой разработки моделей, является Java, один из наиболее мощных и в то же время простых языков программирования. Включение программного кода на Java в модель AnyLogic является органичным и естественным, тексты языка интегрируются в модель чрезвычайно просто и элегантно. Если разработчик глубоко владеет приемами программирования, то он может с успехом использовать при построении модели всю мощь языка. Однако для построения даже сложных моделей на AnyLogic от разработчика требуются лишь самые общие знания о программировании.

AnyLogic – это инструмент визуальной разработки моделей и визуального представления результатов моделирования. Использование визуализации при имитационном моделировании систем трудно переоценить. Наибольший эффект – вплоть до эффекта присутствия – дает анимированное представление поведения системы и ее частей в виде некоторой формы виртуальной реальности.

Для создания имитационной модели сети передачи запускаем программуAnyLogic[4].

Далее нажав на кнопку *Файл*, выбираем пункт *Модель* в меню*Создать*. В появившемся окошке вводим имя модели, ее местоположение. Нажав на кнопку*Далее*выбираем способ создания модели: с нуля, либо используя шаблон. Выбираем*Использовать шаблон модели → Дискретно-событийное моделирование.*

Далее, исходя из исходных данных в среде AnyLogic моделируем сеть передачи данных (рис.2).

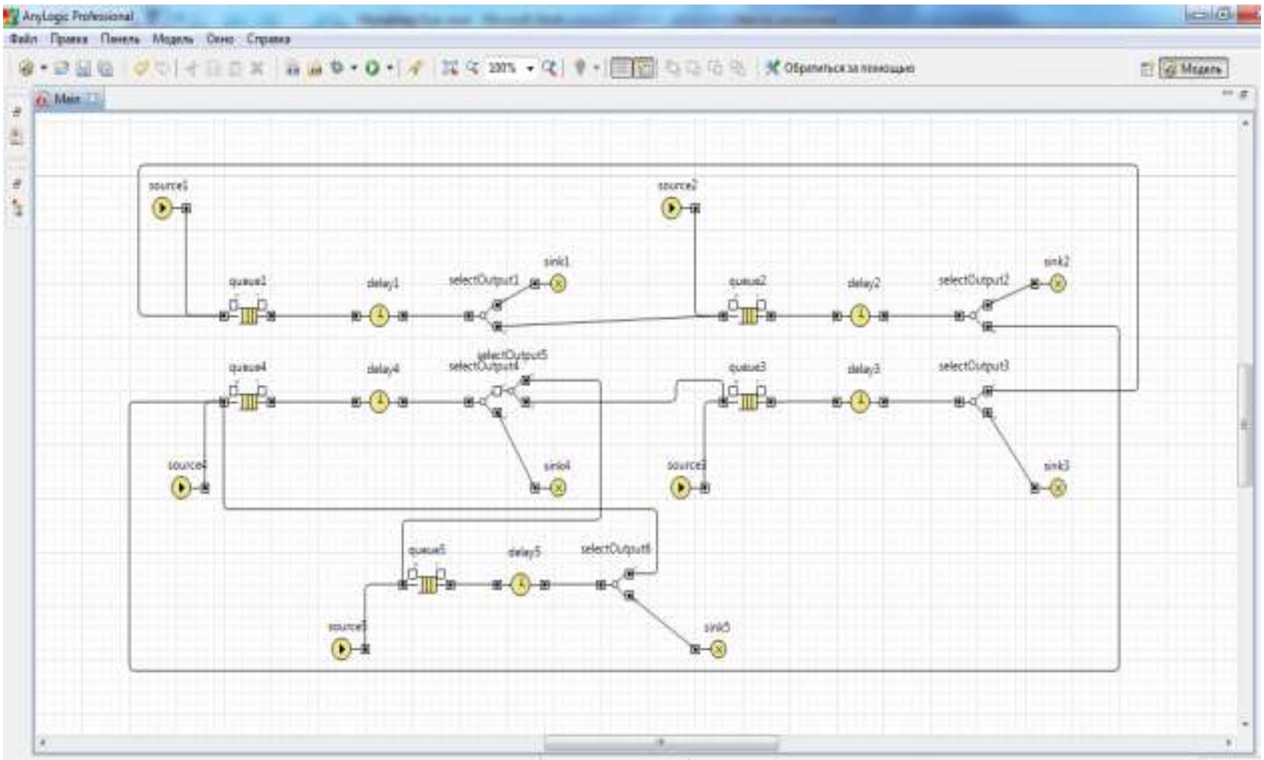


Рис.2. Имитационная структура сети передачи данных.

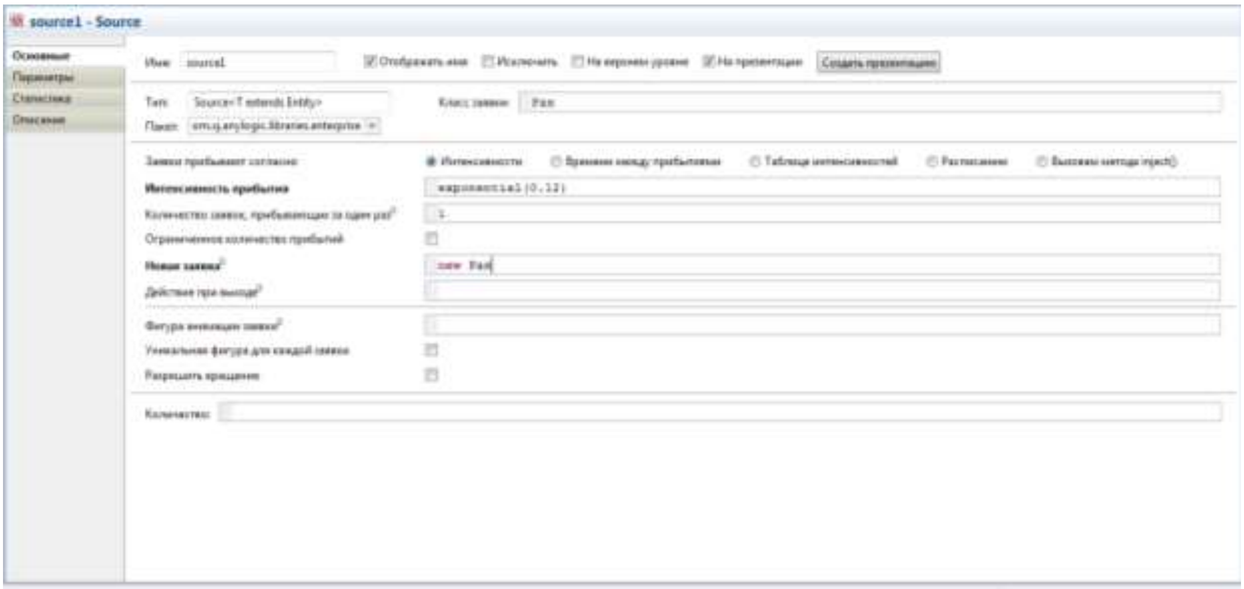
Создаем новый Javaкласс с именем `Рак` в базовом классе `com.xj.anylogic.libraries.enterprise.Entity`. Для этого используется Мастер создания Нового Javaкласса. Поля класса «Рак» приведены в приложении. В эти поля записываются моменты поступления пакетов в узлах, моменты выхода пакетов из узлов, количество поступивших пакетов и другие данные моделирования.

Для имитации модели сети задаем характеристики элементовсети.

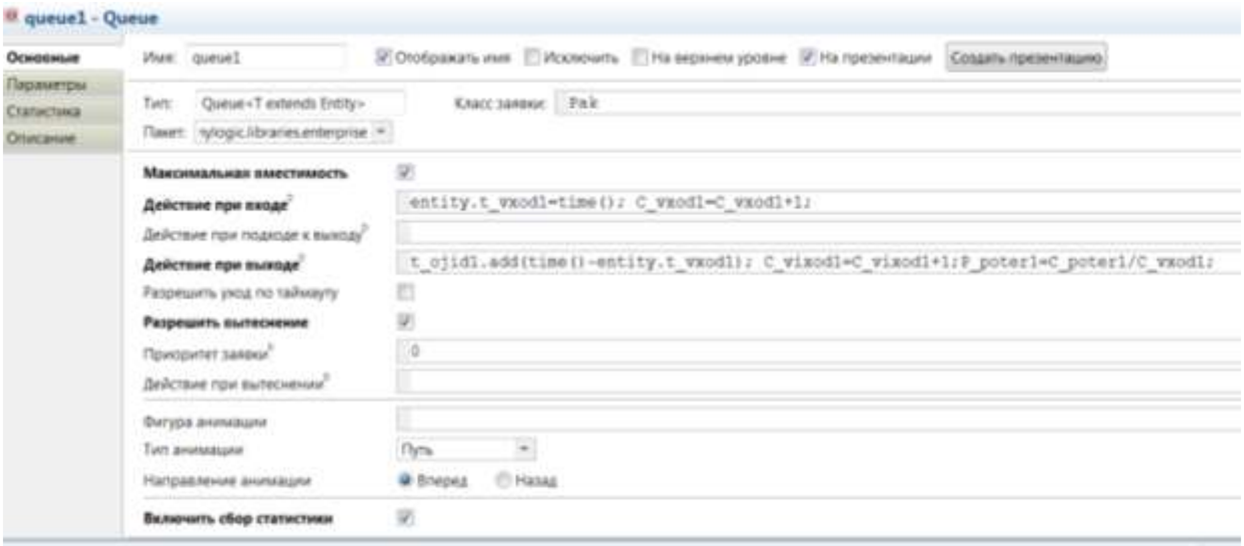
4.2. Настройка элементов сети

Узел 1.Модель узла: **M/M/1;**b_1 = 0.9; γ = 0,12

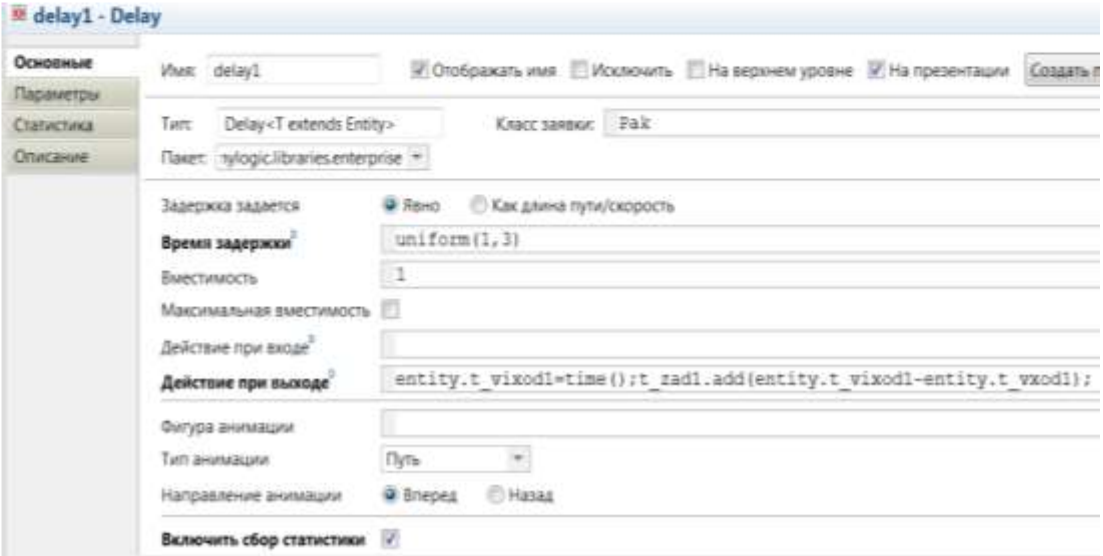
Задаем значение интенсивности внешнего входящего потока заявок в элементе*Source 1*, используя экспоненциальный закон распределения:



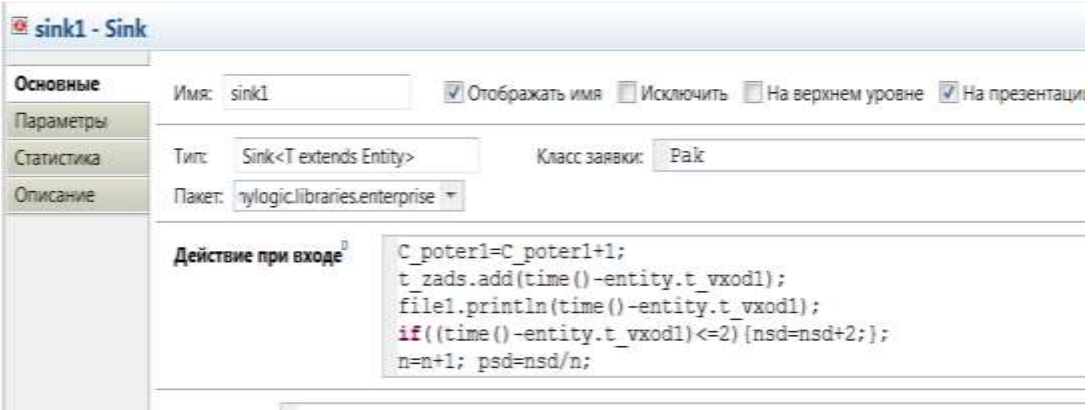
Вэлементе *Queue1* вводим формулы для расчета времени ожидания пакета в буфере 1:



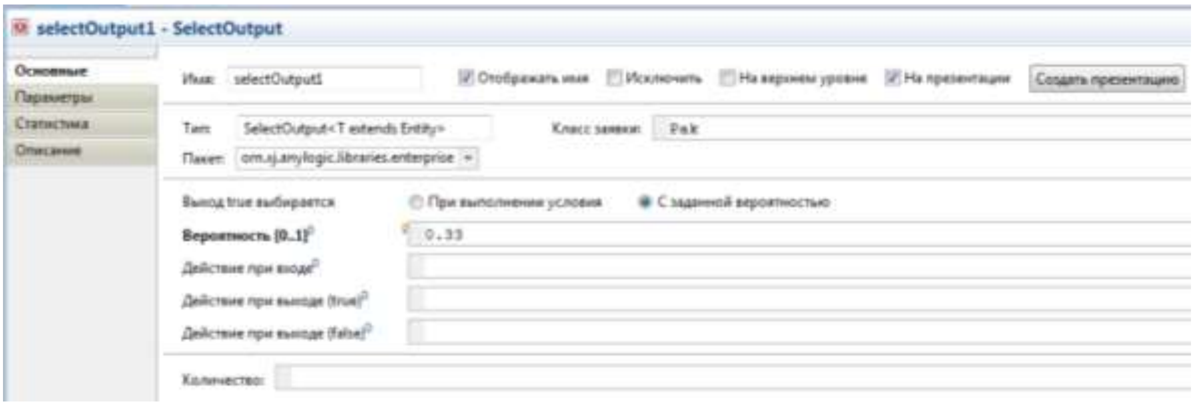
Задаем параметры элемента *Delay 1*, и вводим значения времени обслуживания, используя равномерный закон распределения:



Вводим формулы для расчета коэффициента потерь пакетов в элемент *Sink 1*:



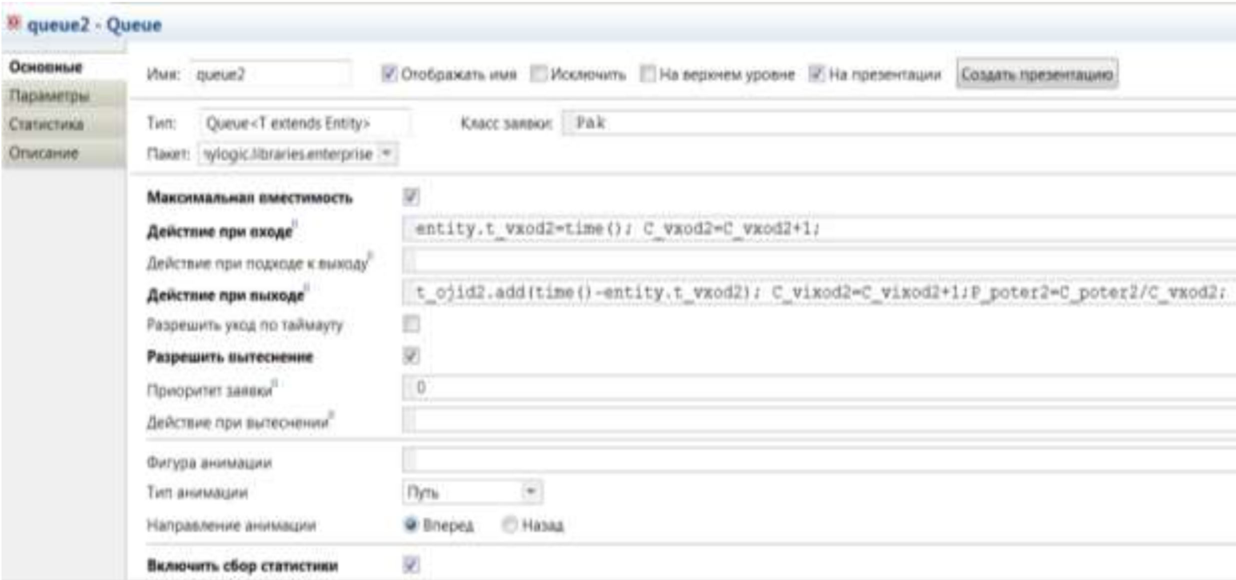
А также вводим вероятности переходов в элементах *SelectOutput 1 и SelectOutput*



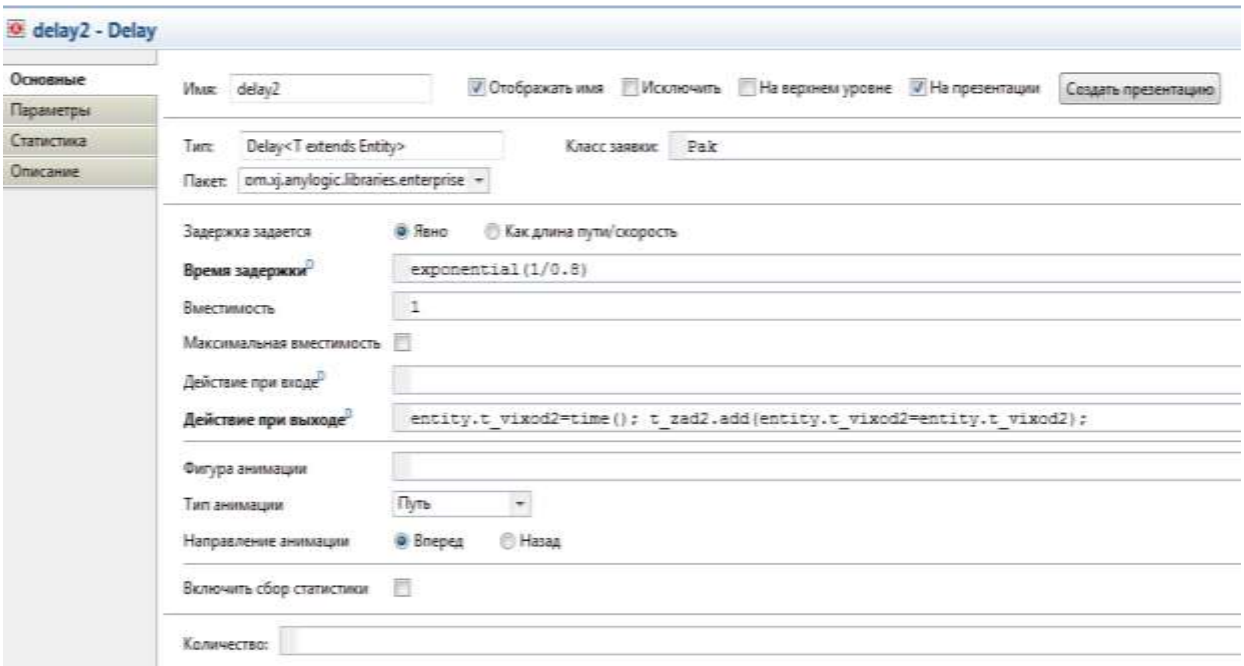
Узел2. Модель узла: **M/U/1;**$b_2 = 0{,}8$; $\gamma = 0{,}1$

Задаем значение интенсивности внешнего входящего потока заявок в элементе *Source 2,* используя экспоненциальный закон распределения:

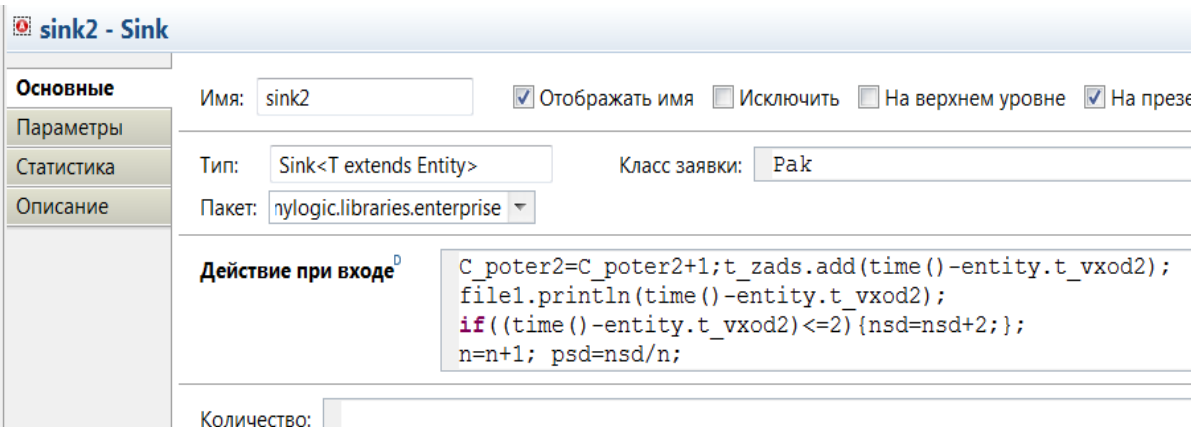
Вэлемент*Queue2* вводим формулы для расчета времени ожидания пакета в буфере 2:



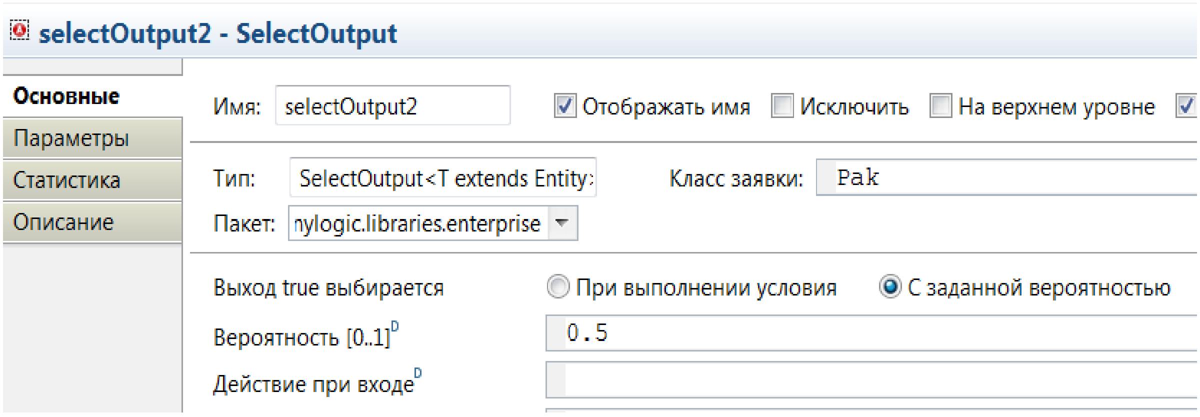
Задаем параметры элемента *Delay 2*, и вводим значения времени ожидания, используя равномерный закон распределения:



Вводим формулы для расчета коэффициента потерь пакетов в элемент *Sink2*:

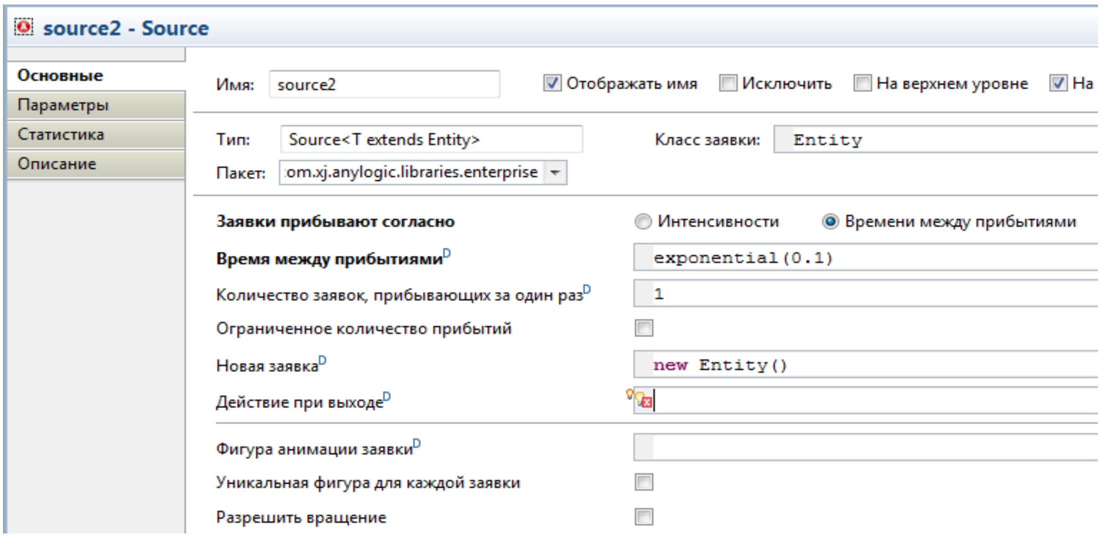


А также вводим вероятности переходов в элементах *SelectOutput2:*

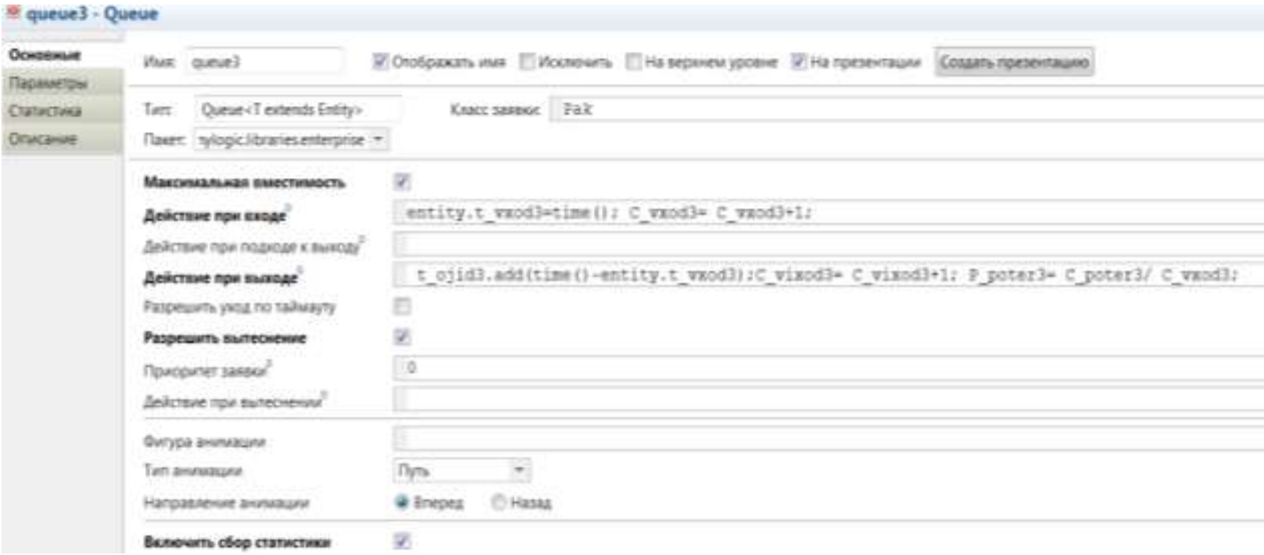


Узел3. Модель узла: **M/D/1**;b_3= 0.6 ; γ = 0,1

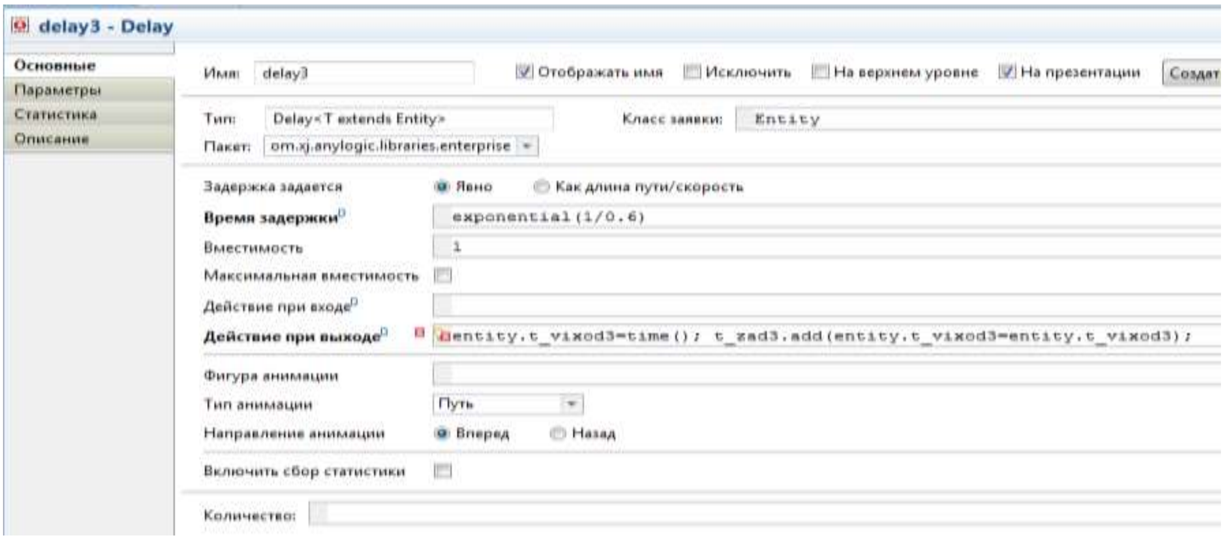
Задаем значение интенсивности внешнего входящего потока заявок в элементе *Source3*, используя экспоненциальный закон распределения:



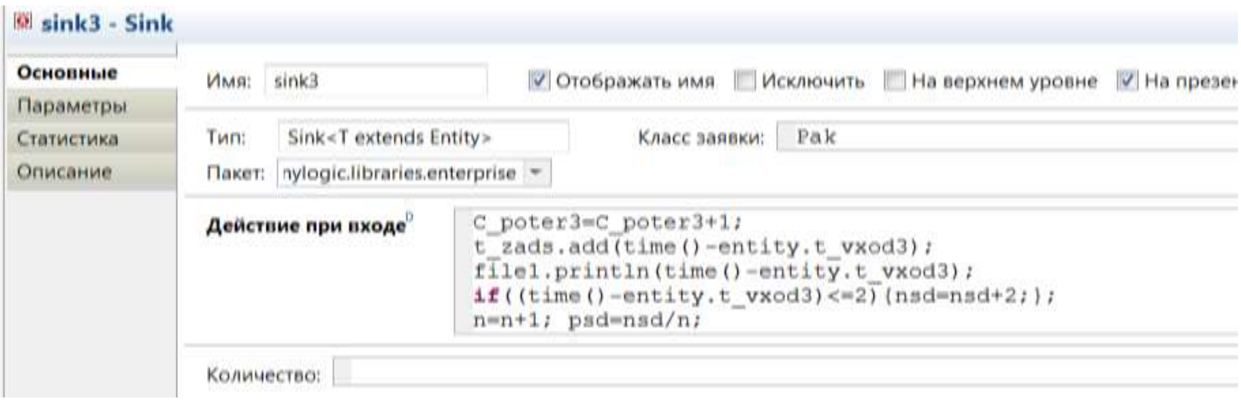
Вэлемент *Queue3* вводим формулы для расчета времени ожидания пакета в буфере 3:



Задаем параметры элемента *Delay3*, и вводим значения времени обслуживания, используя равномерный закон распределения:

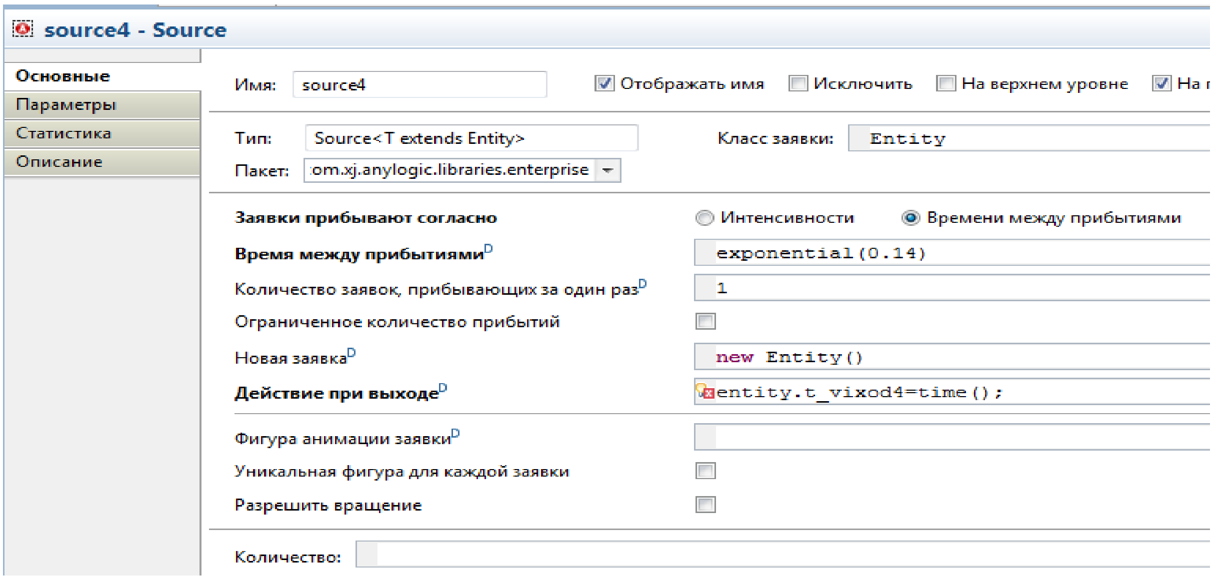


Вводим формулы для расчета коэффициента потерь пакетов в элемент*Sink3*:



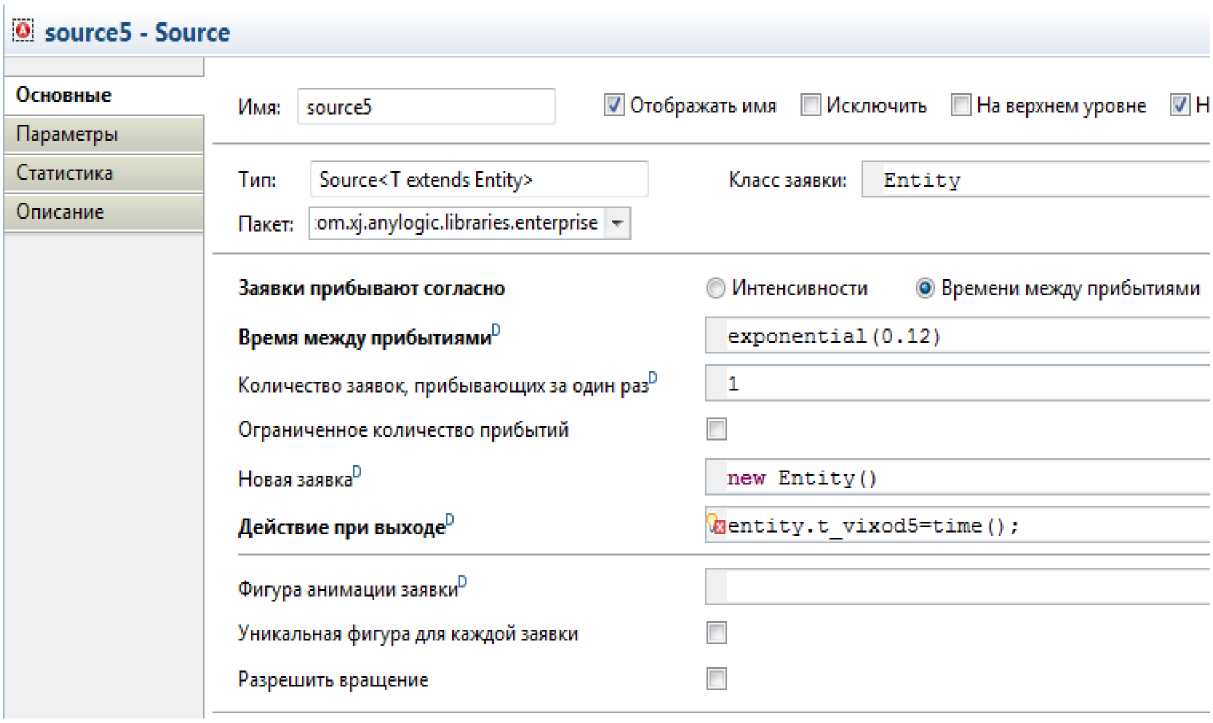
Узел4.Модель узла: **M/M/1**;b_4 = 0.9; γ = 0,14

Задаем значение интенсивности внешнего входящего потока заявок в элементе *Source4*, используя экспоненциальный закон распределения:

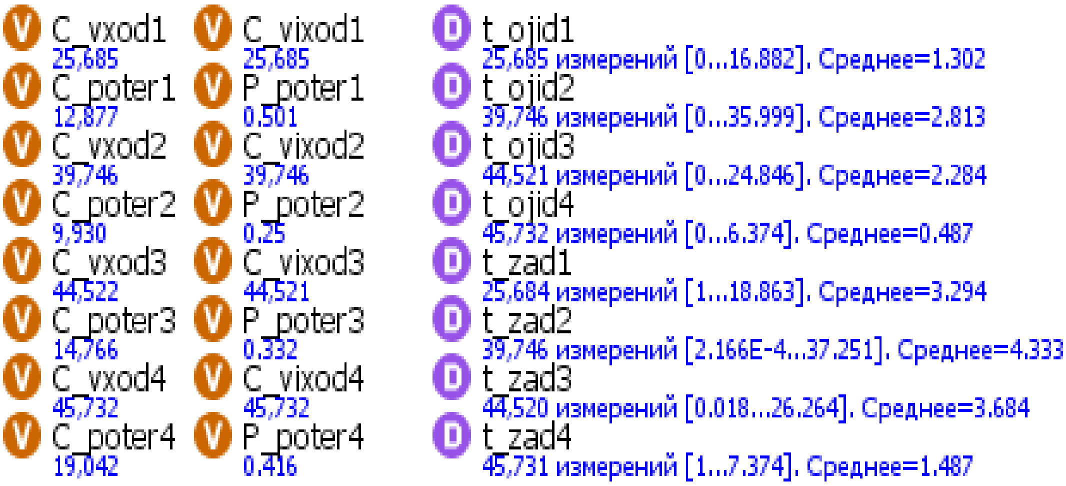


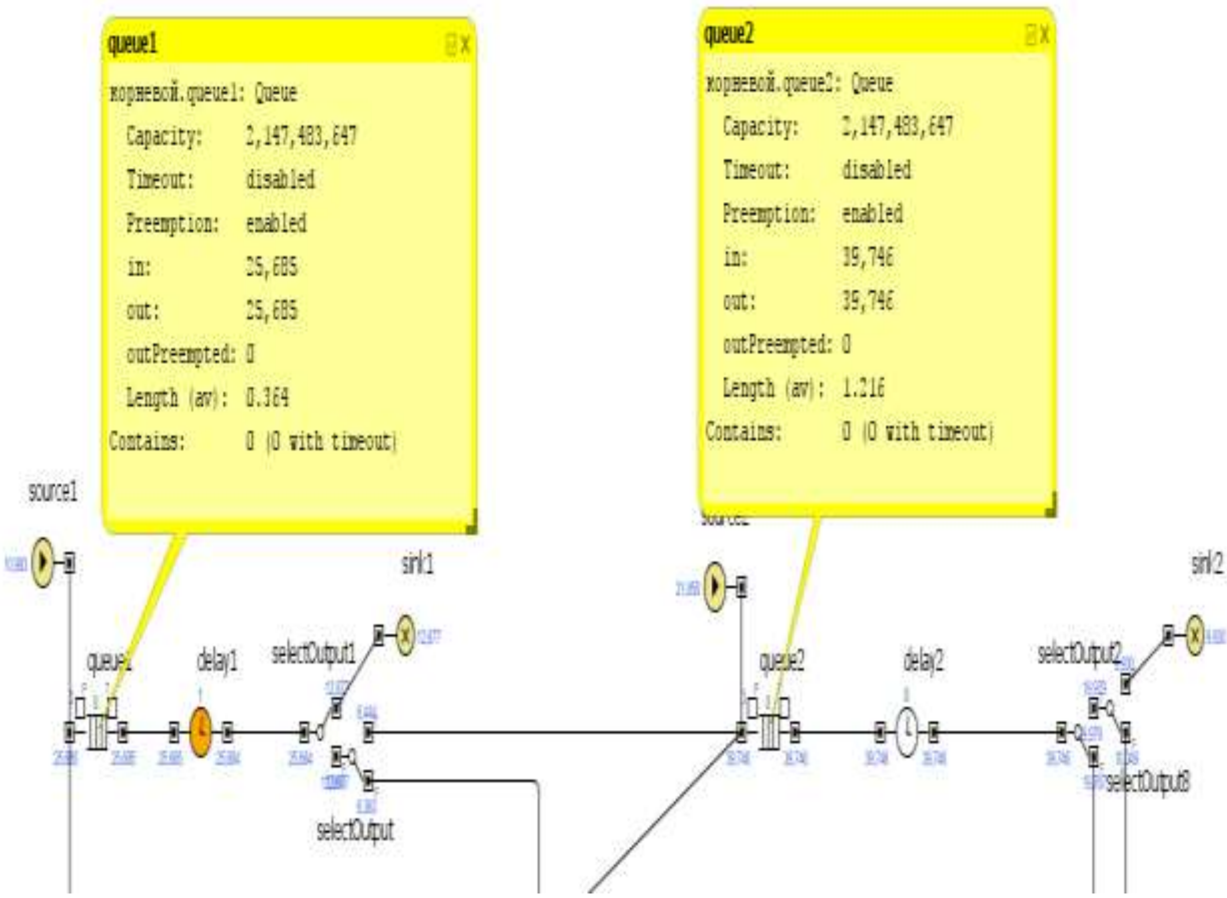
Узел5.Модель узла: **M/E$_2$/1**;b_4 = 0.7; γ = 0,12

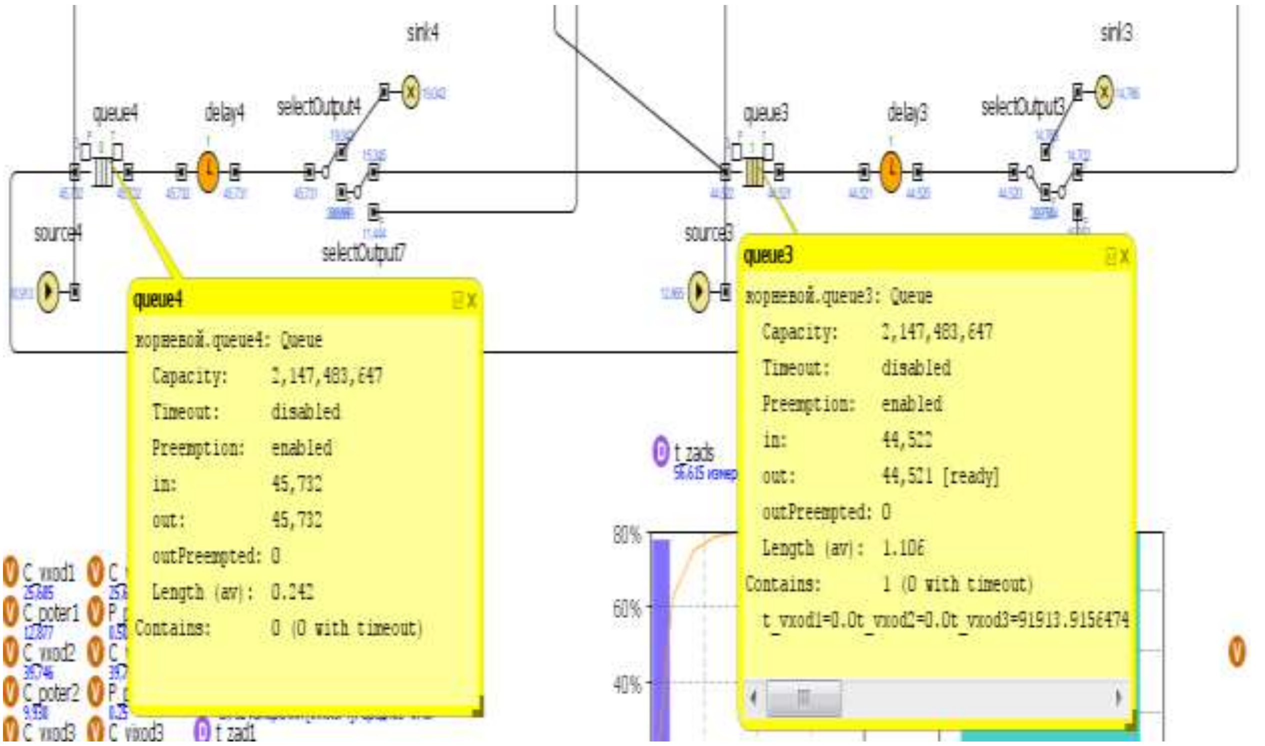
Задаем значение интенсивности внешнего входящего потока заявок в элементе *Source4*, используя экспоненциальный закон распределения:

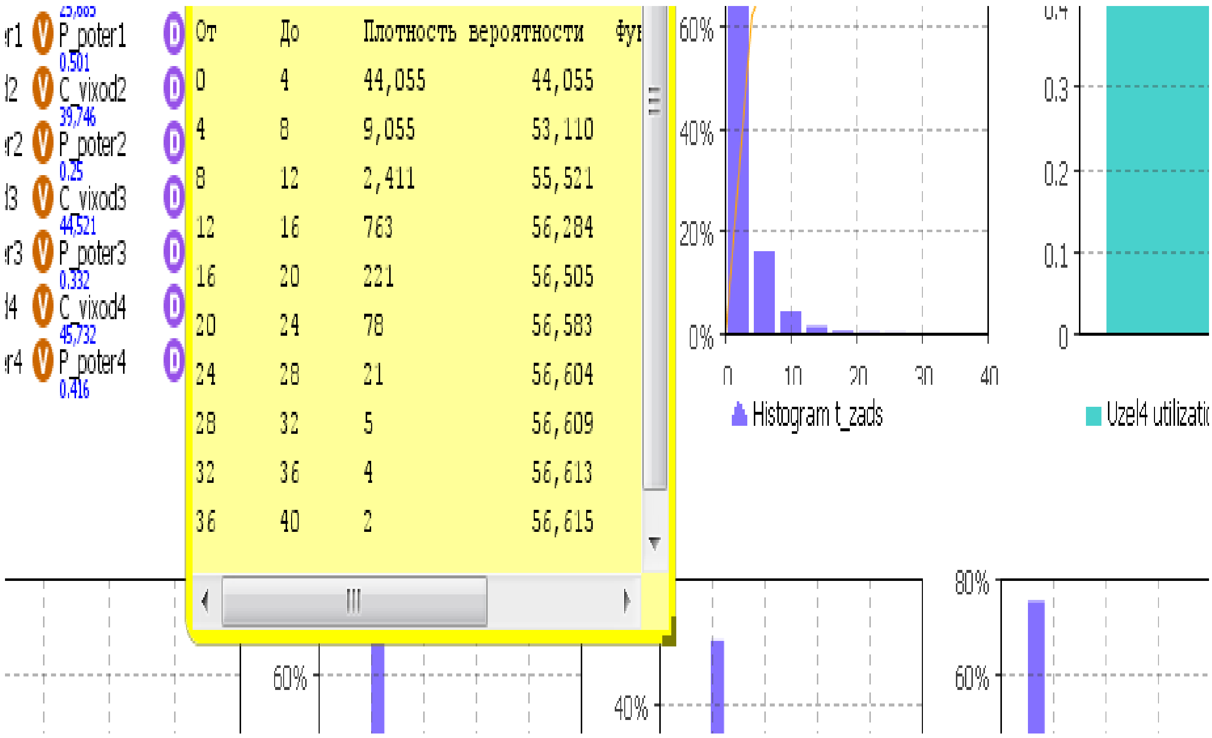


По итогам работы построенной модели СеМО мы видим следующие среднего значения времени ожидания на узлах, времени задержки, коэффициент потерь заявок:






sink4
queue4
delay4
selectOutput4
selectOutput7
source4
sink3
queue3
delay3
selectOutput3
source3
queue4
корневой.queue4: Queue
Capacity: 2,147,483,647
Timeout: disabled
Preemption: enabled
in: 45,732
out: 45,732
outPreempted: 0
Length (av): 0.242
Contains: 0 (0 with timeout)
queue3
корневой.queue3: Queue
Capacity: 2,147,483,647
Timeout: disabled
Preemption: enabled
in: 44,522
out: 44,521 [ready]
outPreempted: 0
Length (av): 1.106
Contains: 1 (0 with timeout)
t_vxod1=0.0t_vxod2=0.0t_vxod3=91913.9156474
t zads
80%
60%
40%
C vxod1
C poter1
C vxod2
C poter2
C vxod3
C vxod3
t zad1


P_poter1
0.501
C_vixod2
39,746
P_poter2
0.25
C_vixod3
44,521
P_poter3
0.332
C_vixod4
45,732
P_poter4
0.416
От | До | Плотность вероятности | Фун
0 | 4 | 44,055 | 44,055
4 | 8 | 9,055 | 53,110
8 | 12 | 2,411 | 55,521
12 | 16 | 763 | 56,284
16 | 20 | 221 | 56,505
20 | 24 | 78 | 56,583
24 | 28 | 21 | 56,604
28 | 32 | 5 | 56,609
32 | 36 | 4 | 56,613
36 | 40 | 2 | 56,615
60%
40%
20%
0%
0
10
20
30
40
Histogram t_zads
0.3
0.2
0.1
0
Uzel4 utilizatio
80%
60%
40%

4.2. Сравнительных анализ результатов аналитического и имитационного моделирования

В таблицу 5 сведены результаты аналитического и имитационного моделирования сети передачи данных.

Таблица 5

Сравнительный анализ

Узлы / Характеристики		Узел 1		Узел 2		Узел 3		Узел 4		Узел 5	
		Рас-чет	Изме-рение	Рас-чет	Изме-рение	Рас-чет	Изме-рение	Рас-чет	Изме-рение	Рас-чет	Изме-рение
Загрузка узла	ρ	0.094	0.094	0.209	0.209	0.177	0.178	0.103	0.103	0.37	0.373
Среднее время ожидания заявок в очереди	w	0.03	0.030	0.134	0.091	0.089	0.000	0.103	0.105	0.44	0.607
Среднее время пребывания заявок в системе	u	0.63	0.60	0.834	0.70	0.889	0.800	1.003	0.906	1.44	1.008
Средняя длина очереди	l	0.005	0.005	0.04	0.027	0.019	0.000	0.012	0.012	0.163	0.224

Среднее время пребывания заявок в сети U: Рассчитано – 0,960; Измерено – 0,803.

Результаты расчетов заданной модели сети передачи данных и показатели произведенного моделирования, симуляции его работы оказались близки по значению. Что подтверждает и доказывает целесообразность проведения подобного рода моделирования с целью выявления наиболее эффективной организации сетей передачи данных.

Список литературы

1) Клейнрок Л. Теория массового обслуживани: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.

2) Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями: Пер. с англ. –М.: Мир, 1979. -600 с.

3) Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009.- 363 с.

4) Боев В.Д., Кирик Д.И., Сыпченко Р.П. Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования.-СПб: ВАС, 2011.-348

1 **Задачи и модели исследования операций.** Ч. 3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений : учеб. пособие / И. В. Максимей [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 1999. – 150 с.

2 **Кельтон, В.** Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 848 с.

3 **Максимей, И. В.** Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – М. : Радио и связь, 1988. – 232 с.

4 **Томашевский, В. Н.** Имитационное моделирование в среде GPSS / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова. – М. : Бестселлер, 2003. – 416 с.

5 **Основы имитационного и статистического моделирования**: учеб. пособие / Ю. С. Харин [и др.]. – Минск : Дизайн ПРО, 1997. – 288 с.

6 **Шеннон, Р.** Имитационное моделирование систем – наука и искусство / Р. Шеннон. – М. : Мир, 1978. – 418 с.

7 **Шрайбер, Т. Дж.** Моделирование на GPSS / Т. Дж. Шрайбер. – М. : Машиностроение, 1980. – 593 с.